

XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

ACTA DE DISERTACIONES Y TRABAJOS VOLUNTARIOS

14 Y 15 DE OCTUBRE DE 2021

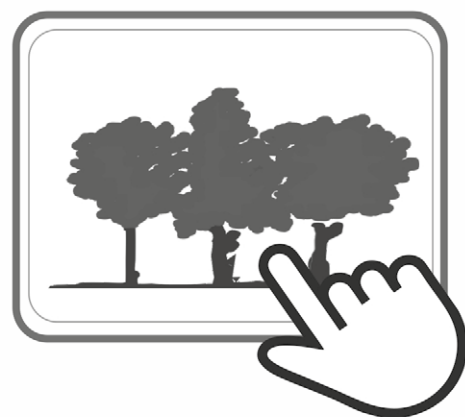
CONCORDIA, ENTRE RÍOS, ARGENTINA



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



CoFRU
Consortio Forestal Río Uruguay





COMISIÓN ORGANIZADORA

COORDINACIÓN GENERAL

María de los Ángeles García

Sergio Orlando Ramos

ORGANIZACIÓN GENERAL

EEA Concordia-INTA: Carlos de la Peña, Carla S. Salto, Ciro Mastrandrea, Gustavo López, Javier Oberschelp, Leonel Harrand, María de los Ángeles García, María Noël Comparetto, Matías S. Martínez, Sergio O. Ramos.

AIANER: Paola Velázquez

Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial: Mario Flores Palenzona

UTN Concordia: Natalia Tesón

AFOA Regional Río Uruguay: Alejandro Guidici

Consorcio Forestal Río Uruguay (COFRU): Sebastián Alberti y Roberto Delasoie

COMISIÓN EVALUADORA DE TRABAJOS VOLUNTARIOS

Ing. Ftal. Aldo E. Keller. INTA, EEA Montecarlo, Misiones.

Dra. Ing. Ftal. Nardia M. Bulfe. INTA, EEA Montecarlo, Misiones.

Dr. Ing. Ftal. Miguel Ángel Sarmiento. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Dra. Ing. Agr. Gabriela Ayala. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. Ing. Agr. Javier Oberschelp. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. Ing. Ftal. Javier Alejandro Alvarez. INTA, EEA Delta del Paraná, Buenos Aires.

Dra. Ing. Agr. Mónica B. Sagadin. Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, CIAP-INTA, Córdoba.

Dra. Ing. Agr. Natalia Tesón, Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional, Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Sebastián Kees. INTA, Campo Anexo Estación Forestal Plaza de la EEA Sáenz Peña, Chaco.

Ing. Ftal. Ciro A. Mastrandrea. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) María de los Ángeles García. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Agr. (MSc.) Sergio O. Ramos. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Leonel Harrand. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carla S. Salto. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carlos de la Peña. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. CPN. Luis María Vera. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Mario Flores Palenzona. NEF Concordia, Entre Ríos, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (MAGyP).

Diseño y diagramación: Lic. Sebastián Sarubi.

Fotos de tapa: Argentina Forestal, Gabriel de Ciancio, María de los A. García, Mario Flores.

ORGANIZADORES



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



PATROCINADORES





ÍNDICE

PREFACIO	8
RECONOCIMIENTO ANUAL	10
UNAS PALABRAS DE UN COMPAÑERO Y AMIGO DE JORGE LUIS APARICIO	11
<u>Disertaciones</u>	
FUENTES POTENCIALES DE BIOMASA DE ORIGEN FORESTAL EN URUGUAY Fernando RESQUIN	13
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL EN MISIONES René MANGIATERRA	18
PRODUCTOS BAJO NORMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA. QUÉ PRODUCTOS PUEDEN PRODUCIR LOS ASERRADEROS LOCALES Martín SANCHEZ ACOSTA, Ciro MASTRANDREA, Matías MARTÍNEZ	21
ESCARABAJOS DE CORTEZA EN PLANTACIONES FORESTALES DE URUGUAY Y ARGENTINA: DAÑOS Y MANEJO Demian GOMEZ	29
MANEJO Y COMERCIALIZACIÓN DE <i>Eucalyptus SPP</i> Oscar BUPO	33
MODELIZACIÓN ECONÓMICA FORESTAL EN MESOPOTAMIA SUR Demián OLEMBERG, Luis VERA, Mario FLORES PALENZONA, Carlos de la PEÑA	38
<u>Trabajos voluntarios</u>	
DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DENDRO Y DASOMÉTRICAS DE <i>Pinus taeda</i> EN BELLA VISTA (CORRIENTES, ARGENTINA) Oscar W. REY, Cesar G. TORRES, Cecilia LEZCANO	43
DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE <i>Pinus taeda</i> EN BELLA VISTA (CORRIENTES, ARGENTINA). TIPO Y COMPORTAMIENTO TEMPORAL Cesar G. TORRES, Oscar W. REY, Cecilia LEZCANO	48
RELACIONES HIPSOMÉTRICAS PARA <i>Pinus taeda</i> EN LAS PLANICIES ARENOSAS DE CORRIENTES, ARGENTINA Federico J. CANIZA, Alejandro M MAGGIO, Ramón M. CANTEROS	53
EFFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN CON FOSFATO SOBRE LOS PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y FISIOLÓGÍA DE <i>Pinus taeda</i> L. Ingrid Alegransi MILLANI, Matheus Severo de Souza KULMANN, Janini Verônica SCHERER, Davy BRAZ, Anderson de Costa PAINI, Reinaldo Hoinacki da COSTA, Mauro Valdir SCHUMACHER	58



ÍNDICE

- EFFECTO DE LA PLANTACIÓN SIMULTÁNEA Y LA FERTILIZACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO DE UN CLON DE *Pinus taeda* DE 11 AÑOS** (62)
Janini Verônica SCHERER, Ingrid Alegransi MILLANI, Matheus Severo de Souza KULMANN, Davy Salbego BRAZ, Anderson de Costa PAINI, Reinaldo Hoinacki da COSTA, Mauro Valdir SCHUMACHER
- PRODUCTIVIDAD VOLUMÉTRICA DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON *Eucalyptus grandis*** (67)
Alejandro Daniel MAGGIO, Federico Javier CANIZA, Juan Manuel CELLINI, Alejandro MARTINEZ MEIER
- EFFECTO DE LA ÉPOCA Y LA INTENSIDAD DE PODA TEMPRANA SOBRE LA CICATRIZACIÓN DE LAS HERIDAS EN DOS CLONES DE EUCALIPTO** (76)
María de los Ángeles GARCÍA, Sergio O. RAMOS
- ECUACIONES DE VOLUMEN COMERCIAL DE FUSTE DE *Melia azedarach* Y *Grevillea robusta* EN PLANTACIONES MIXTAS DE MISIONES (ARGENTINA)** (81)
Víctor R. PEREZ, Herman HAMPEL
- ANÁLISIS DE RELACIONES MORFOMÉTRICAS DE PLANTACIONES DE *Prosopis alba* EN SITIOS DE CALIDAD DEFICIENTE** (86)
Liza L. LÓPEZ, María C. CAÑETE, Víctor R. PÉREZ
- PARÁMETROS DASÓMETRICOS DE PLANTACIONES DE *Prosopis alba* GRISEB. EN SITIOS CON RESTRICCIONES EDÁFICAS** (91)
Leonardo ROJAS, María C. CAÑETE, Víctor R. PÉREZ
- APLICACIÓN DEL LiDAR SATELITAL GEDI A LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE NATIVO EN EL NORTE DE MISIONES** (96)
Eduardo HILDT, Andrés LESZCZUK, Damian LORAN, Juan Ignacio MARTINEZ, Martín ORONA
- UNA APROXIMACIÓN A LOS COSTOS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL EN EL CENTRO OESTE DE LA PROVINCIA DEL CHACO, ARGENTINA** (101)
Julio Félix MICHELA, Sebastian Miguel KEES
- ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE DOS CLONES DE *Populus spp.* CRECIENDO CON ÁREAS DE INCIDENCIA DE 6,25 A 12,25 M2 EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES** (107)
Facundo HEINZLE, Jorge MARQUINA, José BAROTTO, Dino PALAZZINI
- EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE PROCEDENCIAS LOCALES DE *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. Ex Woolls) EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES** (112)
Pablo S. PATHAUER, Dino A. PALAZZINI



ÍNDICE

- ¿CUÁNTO AFECTA LA EDAD DE LA PLANTACIÓN EN LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO?** 117
Ana María LUPI, Paula FERRERE
- BIOMASA EN UNA CRONOSECUENCIA DE PLANTACIONES DE *Pinus radiata* (D. DON), EN LA REGIÓN PAMPEANA, ARGENTINA** 122
Paula FERRERE, Ana María LUPI
- VOLUMEN DE SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE *Cordia trichothoma* POR MINIESTACAS** 127
Renata Smith AVINIO, Junior Oliveira MENDES, Thaíse da Silva TONETTO, Kelen Haygert LENCINA, Denise GAZZANA, Luciane Grendene MACULAN, Angélica Costa
- ENRAIZAMIENTO DE MINIESTACAS DE YERBA MATE EN DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO** 132
Luciane Grendene MACULAN, Gabriele Taís LOHMANN, Angélica Costa MALHEIROS, Thaíse da Silva TONETTO, Fabio Santos Rangel JUNIOR, Denise GAZZANA, Renata Smith AVINIO, Luana da Silva CADORE, Dilson Antônio BISOGNIN
- ENRAIZAMIENTO ADVENTICIO DE *Myrocarpus frondosus* ALLEMÃO** 141
Thaíse da Silva TONETTO, Dilson Antônio BISOGNIN, Luana da Silva CADORE, Luciane Grendene MACULAN, Gerâne Silva WERTONGE, Denise GAZZANA, Renata Smith AVINIO, Angélica Costa MALHEIROS, Gabriele Taís LOHMANN, Jacson Ricardo LIBRELOTTO, Fabio Santos Rangel JUNIOR, Kelen Haygert LENCINA
- EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE HONGOS ECTOMICORRÍCICOS SOBRE EL DESARROLLO DE *Pinus taeda*** 146
Davy Salbego BRAZ, Matheus Severo de Souza KULMANN, Ingrid Alegransi MILLANI, Janini Verônica SCHERER, Anderson de Costa PAINI, Reinaldo Hoinacki da COSTA, Mauro Valdir SCHUMACHER
- CONTROL DE ACACIA NEGRA (*Gleditsia triacanthos* L.) EN UN PREDIO DE LA PAMPA ONDULADA** 150
Eduardo Augusto PENON, María del Pilar SOBERO Y ROJO, Pablo DE FALCO, Santiago FRESCA
- INVASIONES BIOLÓGICAS: OTRA ESPECIE PLAGA AGALLADORA ASOCIADA A LOS EUCALIPTOS PRESENTE EN EL PAÍS** 155
Carmen M. HERNÁNDEZ, Daniel AQUINO, Sergio O. RAMOS, Andrea V. ANDORNO
- CONTROL BIOLÓGICO DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS PRIMERA PARTE: ATRACTIVIDAD DE UN CEBO BIOLÓGICO COMERCIAL EN HORMIGUEROS *Atta sexdens*; L., 1758** 160
Abel SCHERF, Edgar ESKIVISKI



ÍNDICE

- CONTROL BIOLÓGICO DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS SEGUNDA PARTE: EFICACIA DE UN CEBO BIOLÓGICO COMERCIAL ANTE HORMIGUEROS JUVENILES DE *Atta sexdens*; L., 1758** 164
Abel SCHERF, Edgar ESKIVISKI
- DETERMINACIÓN DE PATÓGENOS FÚNGICOS ASOCIADOS A SEMILLAS DE ESPECIES NATIVAS DE SANTIAGO DEL ESTERO** 169
María V. PARRA, Mauricio EWENS, Dominga V. LEDESMA, Andrea S. GODOY, Antonella MANCILLA
- ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE RAMA *Piper gaudichaudianum* Kunth FRENTE AL HONGO *Lentinus lepideus* (Fr.) Fr.)** 174
Guilherme E. ANDRADE, Marina do A. JACOBINI, Nadia H. BIANCHINI, Bibiana F. BATISTA, Marlove F.V. MUNIZ, Berta M. HEINZMANN
- RELACIÓN DE ÁREAS DE DURAMEN Y ALBURA DE 5 CLONES DE *Eucalyptus*** 179
Christian BULMAN HARTKOPF, Rosa A. WINCK, Hugo E. FASSOLA, Diego R. AQUINO, Pablo M. STEFANI
- VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD A TRES ALTURAS DE FUSTE DE 5 CLONES DE *Eucalyptus*** 183
Christian BULMAN HARTKOPF, Rosa A. WINCK, Hugo E. FASSOLA, Diego R. AQUINO, Pablo M. STEFANI
- EVALUACIÓN DEL RAJADO EN ROLLIZOS DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* DE INTA** 188
Matías Salvador MARTÍNEZ, Ciro Andrés MASTRANDREA, Rosa Ángela WINCK, Leonel HARRAND, Gustavo Pedro Javier OBERSCHELP
- PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD ESTRUCTURAL DE FAMILIAS DE PINO HÍBRIDO F1 INTA-PINDO** 193
Rosa A. WINCK, Lucía R. WINCK, Ector C. BELABER, Diego R. AQUINO, Hugo E. FASSOLA, María C. AREA, María E. GAUCHAT
- CARACTERIZACIÓN DE TARUGOS PARA PRODUCCIÓN DE PLACAS DE MADERA LAMINADA URUGUAYA** 198
Gastón BRUZZONE, Diego PASSARELLA, Sebastián QUAGLIOTTI, Laura MOYA
- SECADO NATURAL DE LEÑA UTILIZADA PARA ENERGÍA: INFLUENCIA DE COBERTURA Y TIEMPO DE SECADO** 203
Daniele BERNARDY, Débora Luana PASA, Matheus Morais ZIEMBOWICZ, Samara LAZAROTTO, Jorge Antonio de FARIAS
- BIOCARBONES Y COPRODUCTOS POR PIRÓLISIS EN ESPECIES Y CLONES *Eucalyptus*: PRIMEROS RESULTADOS** 208
Andrés CASONI, María A. VOLPE, Alberto ACEVEDO, Pablo MARINANGELI, Javier OBERSCHELP, Leonel HARRAND, Javier GYENGE, Leonardo SAELLESES, Ana Maria LUPI
- RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN EL BIOMA PAMPA** 213
Lucas J. MENDES, Jocimar C. MILAGRE, Saleta AMEIXEIRAS R., Damáris G. PADILHA, Luciano F. WATZLAWICK, Lúcio P. AMARAL



PREFACIO

En su 35° edición este tradicional evento nos convoca para encontrarnos, intercambiar saberes y opiniones, y crear y fortalecer vínculos entre todos los eslabones de esta cadena tan diversa. Con otro año desde la virtualidad y el desafío de mantener este espacio que ha ganado su lugar en la agenda del sector forestoindustrial y ha trascendido la región y el país, les traemos una propuesta variada en su temática, con disertantes expertos, reconocidos internacionalmente, y un significativo aporte del ámbito académico a través de los trabajos voluntarios.

En un mundo que demanda la adecuación de los sistemas productivos para reducir las emisiones de gases que causan el calentamiento global, el sector forestal ofrece, entre muchas alternativas de mitigación del cambio climático, por un lado la capacidad de fijar carbono en la biomasa, y por el otro, el aporte de materia prima para generar energía eléctrica de una fuente renovable. Para abordar estos aspectos Fernando Resquin nos ofrece un análisis sobre el potencial del sector forestal para generar biomasa, mientras René Mangiaterra nos cuenta su experiencia en el desarrollo de un exitoso proyecto de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales.

Entre los mecanismos propuestos por Argentina para cumplir con sus obligaciones de reducción y mitigación de las emisiones, se destaca la fijación de carbono en las plantaciones forestales. Cuando la madera se utiliza para fabricar molduras, pisos, muebles, casas, el tiempo de permanencia del carbono fijado es mayor. En ese contexto, y considerando el déficit habitacional de Argentina, construir casas de madera ofrece una oportunidad de diversificación a los industriales madereros y a las empresas constructoras. Pero construir viviendas de madera de alta prestación, confortables y seguras requiere aplicar técnicas y piezas normalizadas, para garantizar su calidad. Martín Sánchez Acosta describe las piezas parte y la norma que se debe aplicar para cumplir con los estándares y contar con la certificación de aptitud técnica de estas viviendas.

Otro de los aspectos que preocupan a productores e investigadores forestales en relación con el cambio climático, es cómo afectará a los árboles, cuál será su capacidad de adaptación, el estrés por eventos extremos ¿aumentará su susceptibilidad a plagas y enfermedades? Los escarabajos de la corteza, plagas de amplia difusión y que provocan mucho daño a plantaciones en todo el mundo, atacan principalmente árboles muertos, pero bajo condiciones que favorecen una explosión poblacional y el debilitamiento de los árboles, como el aumento de la temperatura, pueden atacar árboles vivos y dispersarse. Demián Gómez nos explica acerca de los daños causados por estos insectos en plantaciones de Argentina y Uruguay y las estrategias para su control.

En cuanto al impacto económico de la pandemia de COVID que estamos atravesando, el sector forestoindustrial se vio afectado en muchos aspectos, entre ellos la inestabilidad y el aumento de los costos de logística. Oscar Bupo, director ejecutivo de una empresa forestal uruguaya-sudafricana narra en detalle su plan de manejo empresario desde los inicios hasta la actualidad, los desafíos a afrontar en esta época de cambios y oportunidades, comparte generosamente su experiencia, y brinda consejos prácticos para el éxito de un



PREFACIO

proyecto. Siguiendo con esa temática, disponer de herramientas para estimar el resultado económico de un proyecto forestal resulta de gran ayuda para asesores y gestores de empresas forestales. Demián Oleberg presenta un modelo de estimación de costos y rentabilidad aplicable a un sistema productivo forestal típico del sur de Corrientes y noreste de Entre Ríos, que se destaca por la sencillez de uso y los pocos datos requeridos para su funcionamiento.

Mención aparte merecen los numerosos aportes recibidos para ser presentados como trabajos voluntarios. Los mismos abarcan interesantes y originales temas de investigación y permiten enriquecer este evento y difundir los hallazgos más relevantes.

Finalmente, agradecemos a todos por seguir acompañándonos, especialmente a quienes nos brindan su confianza y apoyo para que estas Jornadas puedan continuar realizándose.

María de los Ángeles García - Sergio Ramos

Coordinación general XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos



RECONOCIMIENTO ANUAL

Como todos los años, la Comisión Organizadora de las Jornadas Forestales de Entre Ríos elige a una persona destacada por sus aportes para el desarrollo del sector forestal para hacerle entrega del Reconocimiento Anual. Esa distinción será recibida en esta ocasión por **Jorge Luis Aparicio**.

Jorge es Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad Nacional de La Plata (1979). Obtuvo el título de Magister Scientiae mención Silvicultura en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, con la tesis "Rendimiento y Biomasa de *Eucalyptus nitens* con Alternativas Nutricionales para una Silvicultura Sustentable en un Suelo Rojo Arcilloso" (2001).



En sus inicios como profesional trabajó en el Instituto Forestal Nacional (IFONA), época en la que también se dedicó a la concientización y prevención de incendios forestales y llegó a ser Jefe de bomberos de Paso de los Libre (Corrientes).

Luego se incorporó a INTA, donde siguió trabajando en esta temática, y comenzó a dedicarse a la Silvicultura de especies de rápido crecimiento. En la EEA Bella Vista llegó a ser investigador y jefe del Grupo Forestales. Su especialidad es la silvicultura de *Eucalyptus grandis*, *Pinus spp.* y *Grevillea robusta*. Trabajó en técnicas de establecimiento, nutrición y manejo de los cultivos.

Ha sido director y codirector de becarios de maestría de INTA. Ha publicado numerosos artículos científicos en simposios, congresos, jornadas técnicas y científicas nacionales e internacionales y en revistas especializadas. Y se ha desempeñado como docente de distintos niveles de formación superior.

Participó en diversos proyectos de INTA, cuyos resultados han sido significativos aportes para la mejora de la tecnología de establecimiento y manejo de las plantaciones, tanto en Corrientes como en Entre Ríos. Uno de sus muchos aportes al sector productivo ha sido el impulso y participación activa en la formación del Consorcio Forestal Corrientes Centro, donde sigue siendo un referente respetado y querido.

Sus colegas y amigos destacan su calidad humana, su humildad, sencillez y generosidad, siempre dispuesto a compartir su experiencia. Celebramos este merecido premio y van nuestras felicitaciones a él.

Comisión Organizadora
XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos



UNAS PALABRAS DE UN COMPAÑERO Y AMIGO DE JORGE LUIS APARICIO

Me encomendaron escribir algo sobre una persona que tiene mi afecto y mi respeto, por lo tanto me adelanto y pido disculpas por no ser parcial. Además, espero poder describir de la mejor manera a un hombre que con su trabajo pudo generar cambios significativos en muchos de nosotros y de los productores forestales.

Seguramente muchos lo saben, pero hay que destacar el carácter de Jorge, que cuando llegó a Corrientes como trabajador del IFONA, allá por los 80', paralelamente trabajó junto a la comunidad de Paso de los Libres como Bombero voluntario donde fue jefe de la dotación por un buen tiempo, se capacitó para hacerlo y capacitó a muchas personas en la prevención y lucha contra incendios, incluso dentro del INTA, institución donde ingreso en abril de 1993, y rápidamente se adaptó a la investigación forestal aplicada. Con su maestría realizada en Chile en el 2001 volvió a Corrientes y generó numerosos ensayos de Silvicultura y sustentabilidad ambiental con empresas y productores forestales.

Trabajador incansable, que junto a varios productores del Centro y Suroeste de Corrientes formaron el "Consortio Forestal Corrientes Centro", institución que lo nombró socio honorífico en el 2010 por su labor y la transferencia de sus conocimientos a los productores forestales.

Jorge es un hombre humilde, hincha del "rojo" y apasionado por las aves, un ferviente militante de la sustentabilidad ambiental, que dejó huellas en muchas personas, en los becarios que nos formamos bajo su dirección, en sus alumnos del Instituto de Economía Agropecuaria de Goya, en sus alumnos de la Tecnicatura Forestal de Bella Vista y en sus alumnos de Agronomía de la UNNE.

Puedo decir que nos enseñó mucho, casi sin darse cuenta, con su pasión por el trabajo y su adaptación a los cambios de época. Es un verdadero orgullo para mí acompañar a recibir este reconocimiento a un amigo, gran profesional y compañero, con quien tuve la suerte de trabajar.

Federico Caniza

EEA Bella Vista, octubre de 2021

Disertaciones



C-27



FUENTES POTENCIALES DE BIOMASA DE ORIGEN FORESTAL EN URUGUAY

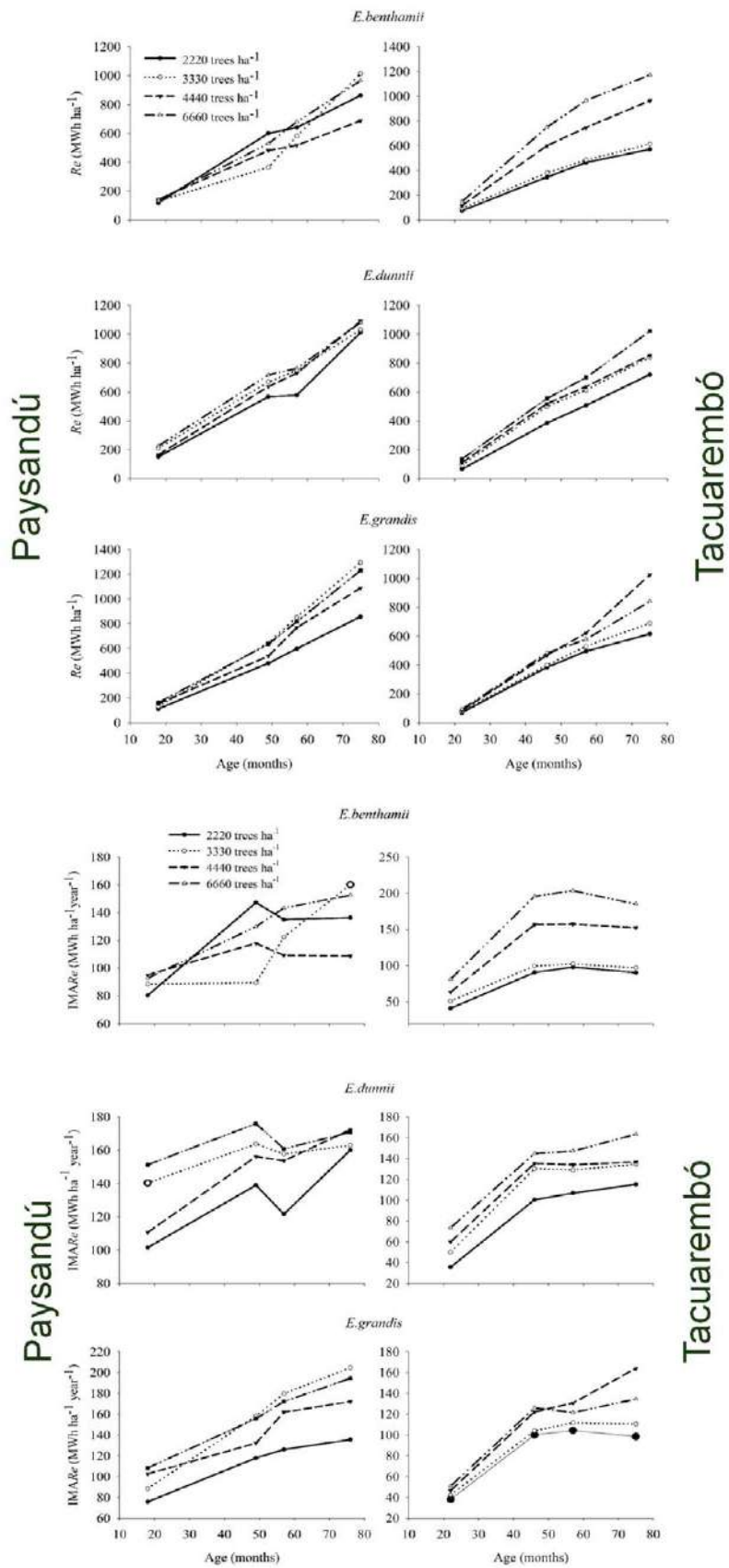
Dr. Ing. Agr. Fernando RESQUIN

Las políticas energéticas de Uruguay de los últimos años procuraron diversificar la matriz energética apuntando a una menor dependencia de los combustibles fósiles desde el punto de vista de las oscilaciones de su precio y de las reducciones de gases de efecto invernadero. En esa búsqueda se valoraron distintos tipos de biomasa en función de su disponibilidad, facilidad de acceso y características tecnológicas para la transformación en distintos tipos de combustibles. La biomasa de origen forestal en principio presenta aspectos interesantes ya que se generan importantes volúmenes de residuos a nivel de campo y que en los distintos grupos de suelos de aptitud forestal existen condiciones para la producción de biomasa con altas tasas de crecimiento en el corto plazo. Las plantaciones intensivas para la producción de energía generan una serie de interrogantes en cuanto a la productividad potencial que es posible alcanzar con las especies de eucaliptos, además de algunos aspectos como la definición del turno de cosecha en primera y siguientes rotaciones y el nivel de extracción de nutrientes.

- Alta productividad en corto plazo**
- Alta capacidad de rebrote**
- Especies con densidad de la madera y poder calórico interesantes**
- Bajo contenido de cenizas, azufre y nitrógeno**
- Existe experiencia en el país y en la región**
- Balance energético positivo**

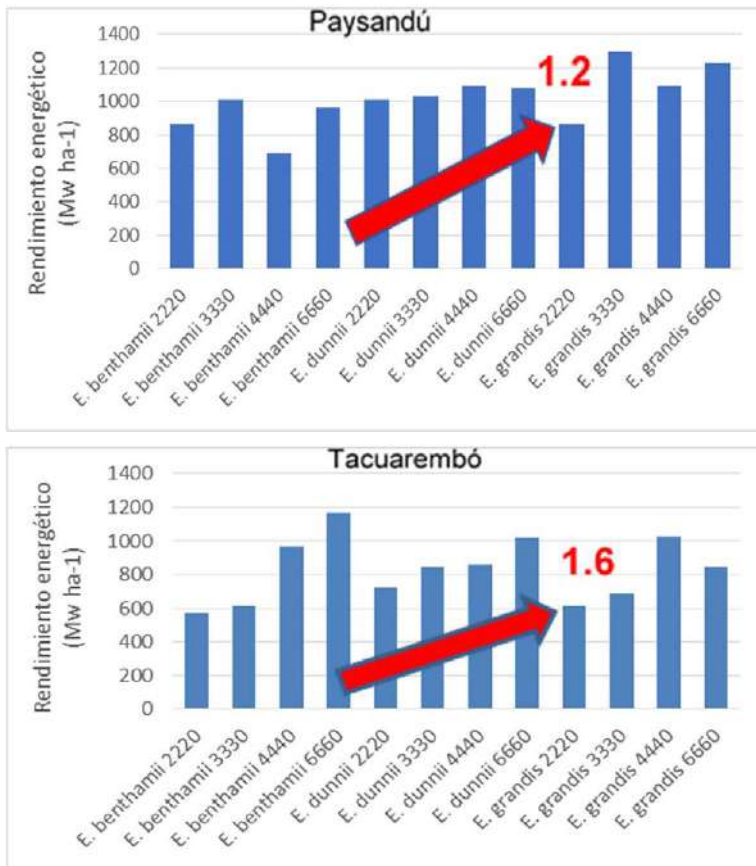


Los principales resultados obtenidos en ese sentido muestran que con las especies de eucaliptos plantadas a nivel comercial es posible obtener altas tasas de crecimiento en turnos cortos de cosecha. Esto se traduce en altos niveles de rendimiento de energía acumulada pero con un estancamiento en edades próximas a los 4 años.

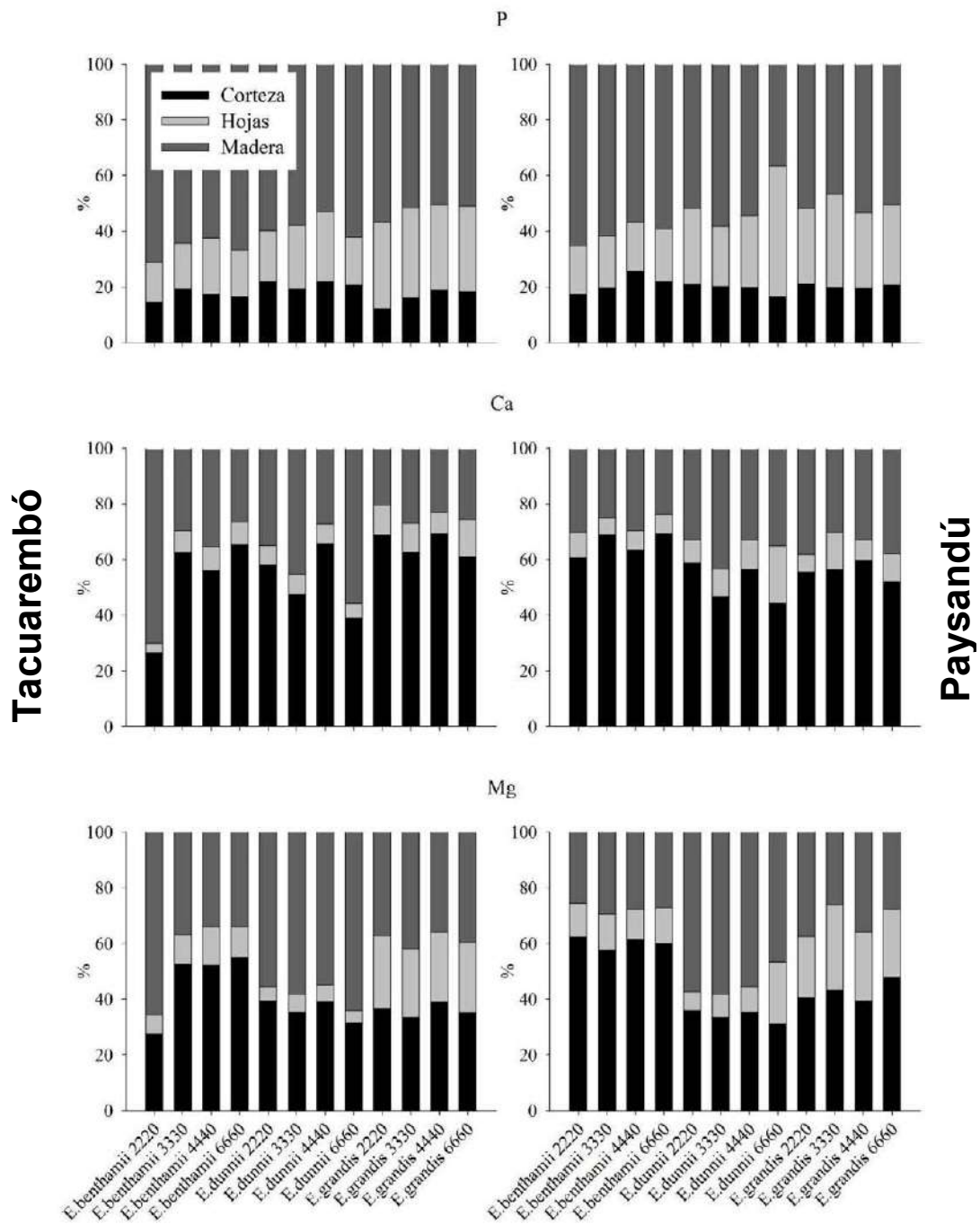


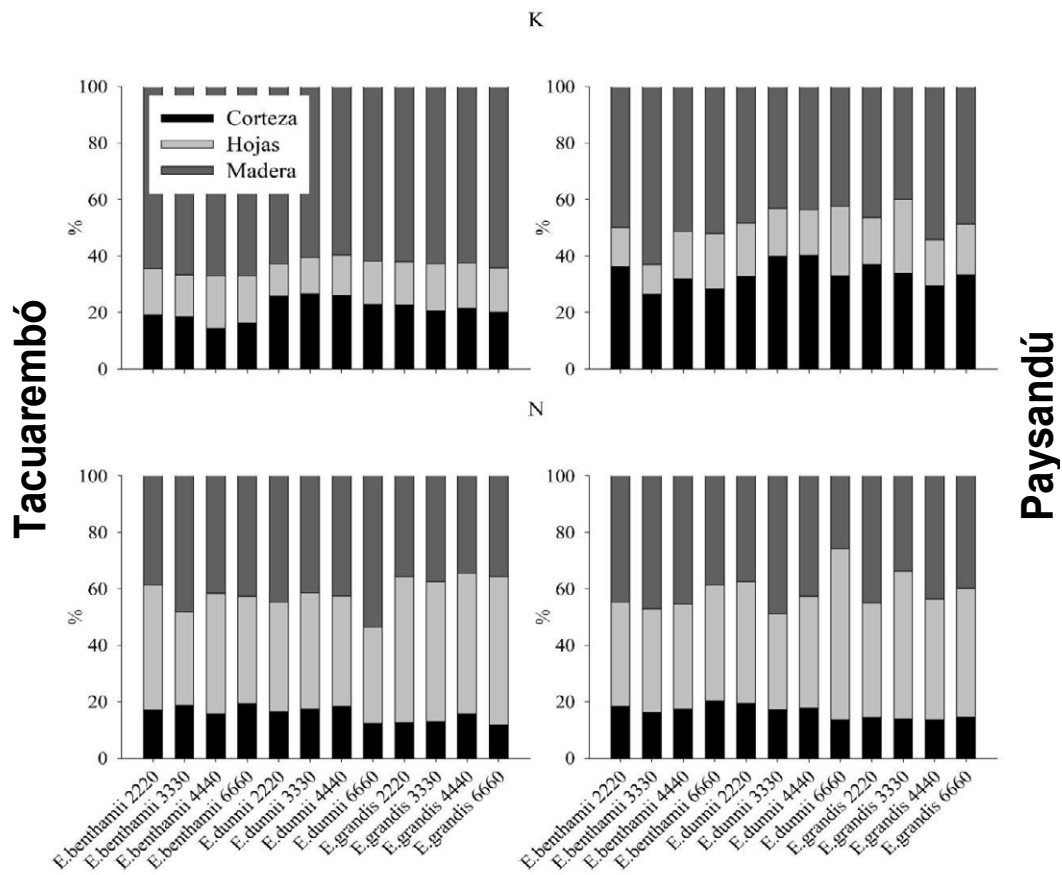


Por otro lado se observa que el incremento en las densidades de plantación no se traduce en la misma proporción en el rendimiento de biomasa y energía, lo que determina bajos niveles de eficiencia de productividad con espaciamientos reducidos.



Esto resalta la conveniencia del uso de densidades de plantación que maximicen la relación costo/beneficio (ej. 2000 árboles/ha). Para las condiciones de los suelos de Uruguay el potasio surge como el primer elemento limitante para las especies de eucalipto en un plazo próximo a los 20 años. También se destaca la necesidad de mantener los residuos en campo, en particular la corteza, para no afectar la sustentabilidad de este tipo de cultivos en el largo plazo.





Con respecto al potencial del uso de residuos de cosecha se destacan las plantaciones de pino con destino a madera sólida, ya que actualmente la parte superior del fuste no tiene un uso comercial.

Promedio de fracciones por Sistema TT/Ha PS

Especie manejo/destino	Madera					Biomasa residuos	Total	Ø Altura com. cm
		Corteza	Hojas	Ramas	Punta			
Eucalyptus pulpa	127,7	16,4	9,5	14,7	2,5	43,1	170,8	5 - 6
Eucalyptus madera sólida raleos	97,7	7,8	3,6	6,1	0,6	18,0	115,7	6
Eucalyptus madera sólida tala rasa	139,0	10,3	6,7	16,6	1,1	34,6	173,6	6
Pinus raleos	30,2	2,4	4,9	7,3	3,1	17,7	47,9	15 - 19
Pinus tala rasa	152,7	10,9	15,2	32,4	11,9	70,4	223,1	19

La logística asociada a utilización de este tipo de madera permitiría su utilización a costos relativamente bajos y por lo tanto competitivos con respecto a otro tipo de residuos de menor relación peso/volumen, como son la punta fina y las ramas. En ese sentido se requiere de información sobre el impacto que tendría el uso de residuos de cosecha sobre la productividad de los rodales en el largo plazo.



PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL EN MISIONES

René MANGIATERRA

Motivo principal del desarrollo del proyecto

El denominado **Cambio Climático** llevó a que los líderes mundiales sientan la necesidad y obligación de comenzar a contribuir para que este **fenómeno** sea limitado. En 1997 se firmó el **Tratado de Kioto**, que llevó a que se promulgara en nuestro país la Ley 26 190 en el año 2007, que fomenta el uso de energías renovables.

En 2016, nuevamente, líderes mundiales firmaron el acuerdo de París, ratificando el compromiso de comenzar a actuar en procesos para evitar que se profundice el cambio climático. En sintonía con este acuerdo es que en 2015 se promulgó en Argentina la Ley 27 191 y fue reglamentada en 2016.

La Provincia de Misiones, mediante la Ley XVI- 117 de fecha 12 de octubre de 2016, realizó su “Adhesión Provincial a las leyes Nacionales Nro. 26 190 y Nro. 27 191 sobre Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la producción de energía eléctrica”.

La Ley 27 191, de promoción de energías renovables, establece una serie de incentivos para el desarrollo de proyectos de fuentes renovables de energía y también establece una serie de obligaciones a los denominados grandes usuarios de energía del país. Entre esas obligaciones define que los consumidores importantes de energía deban, en forma obligatoria, consumir energía de fuentes renovables según una escala establecida hasta llegar al año 2025 con un 20 % de su consumo proveniente de algunas de las 5 fuentes de energías renovables establecidas por esta Ley.

El motivo inicial y principal que llevó al desarrollo de nuestro proyecto, es que esta Ley de promoción de **energías renovables** está muy bien diseñada para hacernos parte a todos los argentinos, que debemos contribuir con este compromiso mundial, con el cuidado de nuestro planeta. Esta Ley entonces, por un lado nos obliga y por otro nos incentiva a la utilización y desarrollo de energías limpias. Decidimos encarar, con la responsabilidad que merecía la situación, un estudio de prefactibilidad para el desarrollo del proyecto en el marco del Plan RenovAr ronda 2 que establece la ley mencionada.

Qué y cuáles son denominadas energías renovables en el marco de la Ley 27 191

Aunque existen otras fuentes de energías renovables, las más comunes y que fueron tenidas en cuenta para promocionar su desarrollo en Argentina son la energía eólica (a partir del viento), la fotovoltaica (a partir de los rayos solares), los pequeños aprovechamientos hídricos (usinas con sus embalses para generar hasta 5 MW/h de potencia), la energía a partir de biogás (gas butano que se genera por la fermentación de orgánicos) y la energía a partir de biomasa, en nuestro caso biomasa de origen forestal. Estas son las energías promovidas por el Estado en las distintas Rondas de licitaciones del Plan RenovAr.

Qué es y cómo se llega a la producción de energía a partir de biomasa forestal

La energía a partir de biomasa forestal es la producida a partir de la combustión de residuos de la forestoindustria para llegar al final a inyectar energía eléctrica a la red a la que accedemos todos los usuarios, industrias, comercios, hogares y todo tipo de instalaciones que usan energía.

Para lograr la combustión de estos residuos primero debemos regularizar su tamaño para lograr caudales regulares; es por esto que se hace a partir de chips de madera, o sea, todo tipo de residuos son molidos para lograr un producto homogéneo y así dosificar regularmente al momento de realizar la combustión que se hace en una caldera, diseñada para lograr generar vapor a alta temperatura y presión. Este vapor a alta presión circula por una tubería para llegar a una turbina y accionarla, conectada a un generador que es el que finalmente produce la energía que se inyecta a la red.



Esta energía, sobre la que cualquiera podría preguntarse “¿esto produce CO₂ al combustionar?” y así es, efectivamente produce CO₂. Pero debemos tener en cuenta que esa biomasa de origen forestal fue produciéndose a partir de la fotosíntesis, que tomó de la atmósfera una cantidad de CO₂ equivalente, inclusive un poco mayor, al que libera al momento de la combustión: a esto se lo conoce como balance de carbono o carbono neutro.

No obstante, también debemos entender que al generar energía de esta forma no solo estamos generando un balance neutro sino que estamos evitando la generación de energía a partir de combustibles fósiles, que es la problemática mundial.

Por qué la elección del emplazamiento (Misiones, Cerro Azul, Ruta 14)

La elección del emplazamiento físico del proyecto surge como consecuencia de conocer la zona y las necesidades y posibilidades del ámbito. Todos los que vivimos en la región central de Misiones entendemos la necesidad de contar con mejor calidad y más constante energía, que sin dudas hacen al desarrollo económico y a la calidad de vida de las personas.

Con el incentivo de gente con conocimientos en lo que se refiere a las conveniencias técnicas de la instalación de una planta generadora de energía de estas características es que comenzamos la búsqueda de un terreno y definimos así su emplazamiento.





Actualidad

La planta está en funcionamiento pleno y excelente desempeño desde hace 4 meses. Respecto del aprovisionamiento en calidad y cantidad de combustible, es este caso biomasa de origen forestal de bosques implantados, estamos sumamente satisfechos, pues todo viene desarrollándose con normalidad de acuerdo con lo previsto.

Nuestra empresa ahora está promoviendo el desarrollo de otros proyectos similares en la provincia de Misiones, brindando nuestra experiencia y entendiendo las necesidades y excelentes posibilidades para llevar a cabo estos emprendimientos. En Misiones podría producirse un 25 % de la energía que se utiliza a partir de residuos de la cadena forestal. Muy interesante sería realizar este estudio en otras áreas forestales para determinar ese potencial.





PRODUCTOS BAJO NORMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA QUÉ PRODUCTOS PUEDEN PRODUCIR LOS ASERRADEROS LOCALES

Martín SÁNCHEZ ACOSTA, Ciro MASTRANDREA, Matías MARTÍNEZ

Usualmente los aserraderos de la región ven a los productos para la construcción de viviendas como algo sofisticado o con altos estándares difíciles de alcanzar, pero en este artículo queremos mostrar la gran gama de productos y calidades que se emplean en la construcción, los que a su vez tienen distintos requerimientos de calidad, desde productos simplemente aserrados de muy bajo requerimiento hasta remanufacturas.

Los tipos de maderas: Transitorias y permanentes

Sin entrar aún en las especies, en general podemos dividir las maderas y/o productos madereros empleados en la construcción en dos grandes rubros según su permanencia en: a) transitorios, y b) permanentes

a) *Madera transitoria:*

Son los productos accesorios a la obra o de apoyo a la misma que no van a permanecer en la misma pero que en cantidad suman... y cuando se trata de una empresa constructora buena parte de ella se puede reutilizar, pero en un caso individual casi se debe considerar un material de "consumo". Entre ellas podemos citar los cerramientos de obras, pasarelas de tránsito, andamios, encofrados y puntales de distintos tipos, por citar los más frecuentes. También entran en esta categoría todas las riendas que se emplean para posicionar provisoriamente bastidores, cerchas y otras piezas. En este caso se emplea madera aserrada verde, sin requerimiento de calidad, siendo las escuadrías frecuentes de 1 pulgada de espesor por 3, 4, 5 o 6 pulgadas de ancho, en el caso de puntales es frecuente emplear tirantes de 3 x 3 y 2 x 3 pulgadas, y para los andamios tablonés de 2 x 6 o hasta 8 pulgadas de ancho, productos estos que también son requeridos en las obras tradicionales de mampostería y se reutilizan.

b) *Madera permanente:*

En este caso son productos que van a quedar en la vivienda, que pueden quedar a la vista o no (donde importa su estética), y fundamentalmente de los que son "estructurales" de fundaciones-pisos, muros y techos (en algunos casos también a la vista) y que deben responder a las normativas vigentes de resistencia; mientras que los "no estructurales" solo responden a requerimientos estéticos o no, como en el caso que queden ocultos (caso típico de separadores, riendas y bulines de sujeción de membranas, entre otros).

Las clasificaciones de la madera

En las clasificaciones podemos diferenciar dos grandes rubros: a) "**por apariencia**", de tipo estético, donde resaltan los productos libres de defectos (*clear*) como los de mayor valor y b) "**por resistencia estructural**", donde lo que interesa es su resistencia más que su aspecto, por lo que admiten anomalías y defectos dentro de ciertos límites que marca la normativa, y resultan de fundamental importancia las dimensiones en mm y su homogeneidad.

Las clasificaciones estéticas son usualmente visuales, mientras que las clases estructurales se denominan por números y para la clasificación se usan preferentemente máquinas que miden la resistencia; cuando no se dispone de máquinas, como el caso de nuestro país, se debe recurrir a clasificaciones visuales que se correlacionan con su resistencia, lo cual es previamente determinado mediante ensayos. Como esto no está estandarizado en el mercado se deben tomar las clases que le colocan los fabricantes aunque pueden no coincidir entre aserraderos, y depende del criterio del productor.



Cabe comentar que en los países donde se construye con madera los productos ya vienen rotulados según se trate de clasificaciones estéticas o estructurales, incluso los sellos en ciertos casos mencionan su empleo, siendo de las más comunes los *studs* (montantes o pies derechos de los bastidores), donde se aclara si son clase 1 o 2. Estas instrucciones y los códigos permiten construir “**por prescripción**”, es decir simplemente siguiendo los manuales y códigos donde se indican las calidades para cada situación (que los productos ya traen detalladas) dando pautas de las dimensiones y distanciamientos según su empleo. El constructor no tiene por qué saber de madera, solo saber interpretar los sellos.



Figura 1. Ejemplo de rotulación, donde S-P-F significa que puede ser un S: Spruce (picea); P: pino; F: abeto.

La clasificación estructural

Clasificaciones internacionales y la que aplica nuestro país suelen dividir en 3 clases a la madera según su resistencia:

Clase 1: alta resistencia

Clase 2: media

Clase 3: baja, casi sin requerimientos

Por ello las detalladas para la construcción son principalmente la **1 y 2**, ya que la **3** solo se emplea en usos no estructurales o de muy bajo requerimiento.

En función de los numerosos ensayos en nuestra región y considerando reglamentos de otros países los entes especializados (como el INTI y la UTN) han consensado una clasificación estructural del Eucalipto grandis en las 3 clases citadas, donde se han establecido límites a las anomalías y defectos tal como consta en las siguientes tablas, donde se diferencian por resistencia a la flexión, a la tracción, módulo de resistencia elástico MOE, y por la presencia de defectos, sus límites y tolerancias.

Clase	Resistencia a la Flexión (Mpa)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Modulo de elasticidad (Mpa)	Densidad (Kg/m3)
1	30	18	14.000	430
2	24	14	12.500	430

Se puede apreciar que las piezas, así sean de la calidad 1, admiten una cierta cantidad y dimensión de anomalías y defectos, como puede apreciarse en las imágenes siguientes



Clasificación estructural Clases resistentes

Defecto	unidad	Clase 1	Clase 2
Pudrición			No se admite
Medula			No se admite
Rajadura	m	No mayor que el ancho de la pieza	
Grietas	m	No mayor a ¼ del largo de la pieza, ni mayor a 1 m	
Arista faltante	mm/mm	Menor a ¼ de la cara o canto donde aparece	
Nudos	mm/mm	≤ 1/3 del ancho	≤ 2/3 del ancho
Combado y encorvado	mm	< a 8 mm	
Revirado	mm/mm	< a 1 mm por cada 25 mm de ancho	
Abarquillado		Sin restricción	
Densidad		No se aceptan valores excepcionalmente bajos	
Otros		Daños mecánicos, presencia de kino se limitan por analogía	



Figura 2. Clasificación de tablas de Eucalyptus grandis (Zakowicz, N.)

Lo usual es que uno compre “el paquete” de las piezas y deba realizar la separación. Para ir “salvando esta situación” a los constructores el INTI y el INTA dictan cursos de cómo clasificar, cuando quienes tomen estos cursos deberían ser los aserraderos o los fabricantes de piezas parte para entreguen la madera clasificada y rotulada, simplificando el sistema.

La construcción bajo normativa

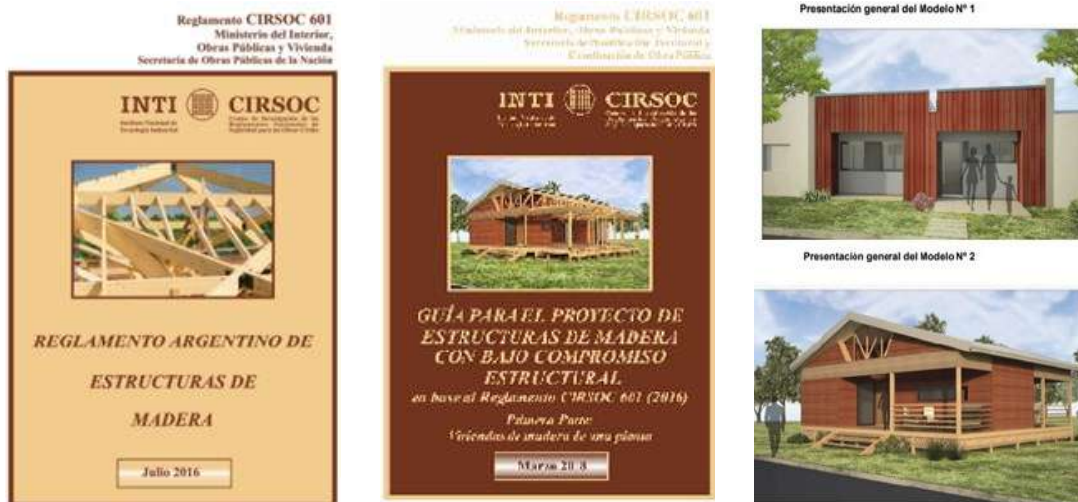
Antes que se contara con las normativas actuales era frecuente que los municipios (que tienen potestad sobre sus códigos de construcción) requirieran de certificados de aptitud técnica (CAT), requeridos para la obra pública pero que por extensión podían dar un cierto “ava” a los proyectos. Por ello el centro de Desarrollo Forestoindustrial de Entre Ríos (integrado por INTA-INTI-UTN-Gema y UCU- Gecoma, entre otros entes) en el 2013 generó un primer CAT, denominado “vivienda de madera sustentable y de alta prestación”, para asistir, sin fines de lucro, a las empresas que lo necesitaran por su requerimiento, siendo que en la actualidad ha gestionado uno más para viviendas de 2 plantas (más de 12 empresas han empleado el CAT del CEDEFI en Entre Ríos y otras provincias).

La redacción interinstitucional del reglamento de cálculo para construcciones en madera CIRSOC 601 -donde tuvo activa participación el Grupo de Estudios en Madera GEMA de la UTN- permitió la incorporación de la madera como material de construcción “tradicional”, eximiéndola de ciertas certificaciones en obras privadas, como los conocidos CAT, y fundamentalmente generó la Guía de construcción para proyectos estructurales de bajo compromiso estructural, con lo cual permite construir con este sistema sin necesidad de la realizar cálculos. Cabe comentar que el CIRSOC 601, por el momento, considera a las maderas: pinos de Misiones (elliottii y taeda), araucaria de



Misiones, eucalipto grandis, álamo del Delta y recientemente se incorporó pino ponderosa de la Patagonia; por ello estas guías son válidas para estas maderas y siguiendo el sistema de plataforma y entramado. En el caso de emplear otros sistemas, como el de pórticos, poste-viga, etc. se requiere de una memoria técnica con los cálculos correspondientes.

Esta guía contempla dos tipologías de viviendas: una tradicional a dos aguas y otra más contemporánea.



Los productos en vivienda bajo normativa, que se pueden producir en la zona

Básicamente las medidas se refieren a aspectos estructurales y de seguridad en cuanto a la rigidización de la vivienda, y en especial el dimensionamiento para dar tiempo de escape en el caso de incendio, conocido como el factor F, siendo que además contempla lo referido a aislación térmica: Si bien la aislación térmica depende mayormente de capas de aire y materiales aislantes que no son madera, los acabos (tanto internos como externos) aportan a una mayor aislación térmica, medida con el valor K.

Para una mejor comprensión podemos dividir a los productos según se empleen en la fundación, el muro y el techo, los cuales están reglamentados en su calidad y dimensiones en mm, con grados de tolerancia.

Fundación: Existen variantes, pero los postes de madera y platea de madera por estar en contacto con el suelo deben ser de madera durable naturalmente, como el duramen de eucalipto colorado, o bien pilotes de eucalipto tratado con cca, los que rara vez exceden los 20 cm de diámetro y 1,5 m de largo.



Vigas principales: las escuadrías más usuales son de 2 x 6 y 2 x 8 pulgadas, calibradas en su ancho pues será la superficie de apoyo. Estas vigas pueden estar a dimensionamientos y distanciamientos que permitan clavar directamente el bajo piso (usualmente de 40,6 a 61 cm si se clavarán placas) pero pueden emplearse tablas simplemente aserradas de bajo piso, colocadas en forma diagonal para rigidizar el diafragma, donde la importancia es su espesor (25 mm) pudiendo ser su ancho variable normalmente de 3 a 6 pulgadas. Las cabezas de las vigas pueden unirse con tablas de 1 pulgada simplemente aserradas, siendo que entre ellas se colocan unas pocas hiladas de cruces de tablas cortas de clase 3 en diagonal (para evitar el efecto de volcado “dominó”)

En ciertos casos se genera un “enrejado superior” empleando madera de 2 x 4 pulgadas por sobre las vigas principales, las cuales usualmente se colocan cada 16 pulgadas, lo que facilita la colocación de las placas, usualmente fenólicas, que deben tener un espesor mínimo de 18 mm.



Solera de nivelación: (1 x 4 o 2 x 4 pulgadas) en el caso de tener una fundación de mampostería (platea o carpeta) por sobre ella irá un aislante y una “solera de nivelación” que es empelada para corregir las imperfecciones de la platea, agregando además un aislamiento a los muros del piso. Deben tener como mínimo el mismo ancho que los bastidores (4 pulgadas: 90 mm) y su espesor puede ser de 1 o 2 pulgadas, pues trabaja a compresión. Esta tabla puede ser simplemente aserrada pero se recomienda que esté tratada con preservante bajo presión. En el caso de platea de madera esta solera suele obviarse, y de colocarse no exige tan alto grado de impregnación, basta con productos de pincel.

Bastidores de muro (2 x 4 pulgadas x 8, 9, 10 pie)

Por razones de resistencia y seguridad deben ser como mínimo del denominado comercialmente como 2 x 4 pulgadas, mínima escuadría para seguridad ante incendios. Toda dimensión inferior es “no reglamentaria”. En este caso serán de clase 1 y 2 según su posicionamiento, pudiendo destacarse que en el caso de eucalipto en su gran mayoría pueden ser de clase 2, mientras que en pino deben ser casi en su totalidad de clase 1. Cabe comentar que cuando se unen dos bastidores, se genera un 4 x 4 por lo cual uno de los montantes puede ser de clase inferior (3). Para el caso de los muros externos es condición indispensable su correcto dimensionamiento en mm (por ello usualmente se precepillan), su grado de humedad inferior a 20% (pues quedarán internos en el muro) y preservación según la especie (en pino bajo presión en zonas con el posible ataque del taladro del pino) mientras que en eucalipto basta con preservante de pincel o inmersión. Los largos de estas pizas dependerán del alto del cielorraso siendo los más comunes de 8, 9 y 10 pie. Todos los bastidores que no sean portantes, caso típico de muros interiores divisorios, no tiene requerimiento de calidad, pueden ser tipo 3, aunque sí deben estar bien calibrados en mm en su ancho para facilitar sus acabados.

Los bastidores pueden contener *dinteles*, donde la madera va de canto o formando cajones, con medidas variables, pero todas de clase de resistencia 1.

El “2 x 4” estructural es tal vez una de las piezas más buscadas y difíciles de encontrar en el mercado, dado que como su demanda tradicional es baja no se tiene la costumbre de producir, por ello se recomienda generar alianzas con algún aserradero para tener una provisión continua. Vale comentar que, tal como consta en la planilla de precios del INTA Concordia, el precio del pie² de este tirante de 2x4 vale un 50 % más que el de la madera común y supera a la seca en



Madera aserrada	Euca seca (estándar)	pie2		67,00		
	Euca seca (selec.)	pie2	84,00	90,00	94,00	
Tablas	Euca seca (clear) (*h)	pie2	90,00	105,00	115,00	
Const.madera (mont. stud)	Tirante estructural, calibrado, cepillado 2x4 euca (IRAM 9662-2)	pie2	70	96	124	Impregnado \$30 p2 en pino



Solera superior: (2 x 4 pulgadas)

Todos los bastidores se unen por un coronamiento, denominado solera superior, la cual debe tener las mismas dimensiones y calidad de los bastidores, aunque su largo puede ser muy variable y permite ocupar recortes de los bastidores.

Techo – cabriadas o cerchas entramadas (2 x 4, 2 x 5 en un plano, o 1 x 3, 1 x 4, 1 x 5, o cordones externos de 1 pulgada e internos de 2 pulgadas en sándwich)

A nivel internacional las cerchas se construyen en tablas en un solo plano (usualmente 2 o 3 pulgadas de espesor) las cuales en sus nudos se unen con placas multiclavos “gang nails” (como las que se aplican en las cabezas de los postes), o bien pedazos de placas fenólicas. Dado que aún no son comunes en el país se recurre a las cerchas entramadas tipo sándwich en 3 capas, donde sus piezas son simplemente aserradas (si no van a la vista) siendo lo más común emplear tablas de 1 x 3, 1 x 4 y 1 x 5 pulgadas según sean portantes o no, y la luz libre a la que están sometidas. En este caso todas deben ser de clase 1, y su preservación igual a la de los bastidores. Como los cordones suelen tener variadas medidas, e incluso muy cortas, permiten el mejor aprovechamiento de las tablas, en especial cuando se diseñan todas con la misma pendiente. En techos a la vista con tijeras, las medidas más usuales son tirantes de 2 x 6 y 3 x 6 pulgadas, donde una preservación superficial es suficiente.





Vigas: de piso y entre piso (2 o 3 pulgadas x 8 ,9 o 10 pulgadas)

Son las piezas de mayor ancho, siendo que en los entrepisos, en especial a la vista, puede justificarse el empleo de vigas laminadas (con adhesivo estructural) usualmente de 2 x 10 o 2 x 12 pulgadas, empleándose a veces de 3 pulgadas de ancho, más por su efecto visual que estructural, ya que aquí lo importante es la altura de la pieza. Puede emplearse madera sólida de 2 y 3 pulgadas por 6 a 8 pulgadas, o bien vigas entramadas con tablas de una pulgada simplemente aserradas, si no van a la vista (de clase 1).



Productos fuera de normativa factibles de producir

Existe una variada gama de productos no estructurales a aplicar, ya sean rústicos, simplemente aserrados que no quedan a la vista, como así también productos de remanufactura donde su calidad es importante siendo los de mayor valor.

Productos simplemente aserrados:

Listones- bulines de sujeción de membranas muro-techo: 1 x 2, 1 x 3 pulgadas y largos varios

Riendas para cruces (techo, piso, muros): 1 x 3 pulgadas y largos varios

Entablonados internos de áticos: 1 x 3 a 1 x 6 pulgadas y largos varios

Clavadora de techo: 2 x 3 y 2 x 4 pulgadas y largos varios



Productos de remanufactura

- *Vigas multilaminadas*: usualmente para techos a la vista, pérgolas, varias medidas
- *Vigas encoladas dúos-tríos*: Si bien faltan ser ensayadas, podrían tener gran aplicación en montantes, portantes, clavadoras, marcos y otros usos.
- *Tablas cepilladas para contramarcos* externos y esquineros: 1 x 3 a 1 x 6 pulgadas
- *Tablas cepilladas para acabo externo*: 1 x 4 a 1 x 6 pulgadas
- *Machimbres externos e internos* de acabado (aleros – cielorraso-muros): 0,5 x 3 o 4 pulgadas
- *Machimbres internos para techos*: a la vista $\frac{3}{4}$ o 1 pulgada x 4,5 o 6 pulgadas
- *Pisos*: distintas variantes



- *Detalles de terminación:* zócalos, cornisas, contramarcos, etc.
- *Placas fenólicas:* Si bien no se producen en nuestra provincia en la construcción se emplean ampliamente para rigidizar muros, techos, como pisos y contrapisos, y como acabados, siendo común emplear la calidad industrial en 10 a 12 mm para rigidizar y 18 a 22 mm en pisos y calidad superior para acabados.
- *Placa MDF:* no son estructurales pero se emplean para gran variedad de acabados, en especial los de tipo decorativo en muros y carpintería.



El futuro

La situación actual es que el constructor en un sistema que permite trabajar en forma modulada y en serie, no cuenta con materiales homogéneos en medidas y calidades, debidamente clasificados y rotulados. No hay una viga laminada que diga si es estructural o no, si es solo de uso interno o externo, madera preservada que diga cuánto producto tiene y para qué es apta, y lo más limitante: no hay madera estructural para pisos, muros y techos que tengan rótulo. De esta forma no tienen certeza ni el constructor ni el inspector que debe constatar la obra, y mucho menos el usuario.

Si se está pensando en fomentar el sistema el punto de partida es entregar al constructor los productos debidamente rotulados y controlados, que cuenten con un aval. Un punto de partida podría ser una "rotulación voluntaria" de productos puntuales, los cuales podrían ser auditados en primera instancia por entes o cámaras relacionados al tema con trayectoria reconocida.

Cuando se piensa en consumo de madera por vivienda puede resultar no demasiado elevado, como por ejemplo el modelo de la Casa de Emaús en Concordia, para la cual la UTN de Concordia calculó un consumo de 5000 pie² en una casa de 72 m² (con base de hormigón), pero en realidad tracciona a toda la cadena forestal pues se precisan de variados productos de acabados, detalles, carpintería e inclusive mueblería, los que incentivan al uso de la madera en la vivienda.



ESCARABAJOS DE CORTEZA EN PLANTACIONES FORESTALES DE URUGUAY Y ARGENTINA: DAÑOS Y MANEJO

Demian F. GOMEZ¹

Los escarabajos de corteza y los escarabajos de ambrosía (Coleóptera: Curculionidae: Scolytinae & Platypodinae) representan dos de los grupos de organismos más dañinos para bosques naturales y plantados a nivel mundial. Si bien la mayoría de las especies atacan árboles muertos, existen especies de varios géneros que atacan y matan árboles vivos (*Dendroctonus* Erichson, *Ips*, *Scolytus* Geoffroy).

Los escarabajos de corteza construyen galerías en el cambium y la porción interna de la corteza para reproducirse y depositar los huevos, las cuales pueden afectar negativamente el desarrollo del árbol. Si el ataque se realiza por un gran número de individuos las defensas del árbol hospedero son superadas y las galerías generan anillamiento, cortando el flujo de nutrientes. Los escarabajos de ambrosía, por otro lado, taladran la madera (generalmente la albura) realizando galerías y cámaras donde depositan los huevos. Las galerías son inoculadas con un hongo simbiote que servirá de alimento a las larvas en desarrollo. Las esporas y el micelio del hongo se transportan en invaginaciones cuticulares en el exoesqueleto del insecto llamadas micangios. Estas estructuras presentan una diversidad enorme a pesar de la uniformidad morfológica encontrada en los escarabajos de ambrosía y pueden encontrarse en piezas bucales, segmentos basales de los apéndices locomotores, tórax y élitro.

Los escarabajos de corteza presentan sistemas de apareamiento variados. En especies monógamas, hembras pioneras perforan un orificio de entrada y construyen galerías. La copula se realiza con un solo macho cerca del orificio de entrada. Este sistema de reproducción es característico de los géneros *Hylastes* Erichson, *Hylurgus* Latreille (Figura 1), *Tomicus* Latreille, entre otros. Varias especies de este grupo son de importancia económica para la región. Las especies polígamas se caracterizan por presentar machos encargados de la penetración del huésped y de la construcción de la cámara de copulación, mientras que las hembras construyen las galerías de oviposición. El macho se reproduce con varias hembras en la cámara de copulación. Representantes de los géneros *Ips* De Geer, *Orthotomicus* Ferrari y *Pityogenes* Bedel presentan poligamia, siendo *Orthotomicus erosus* (Wollaston) y *O. laricis* (F.) de importancia en la región (Figura 1).

La mayoría de las especies de escolítidos dependen de árboles debilitados o muertos, pero durante brotes epidémicos pueden también establecerse en árboles sanos. Cuando las poblaciones de escarabajos de corteza se mantienen bajas, se desarrollan sobre árboles caídos, tocones y desechos de actividad silvícola. Un evento de perturbación que genera material disponible para cría, sumado a altas temperaturas que favorecen el desarrollo de los escolítidos, promueve la existencia de explosiones poblacionales. Los brotes epidémicos se desarrollan cuando existe una perturbación que eleva la abundancia de una o varias especies de escolítidos y/o disminuye la resistencia de los árboles. La existencia de un gran número de árboles susceptibles, promueve el ataque de árboles vivos. Se induce entonces un proceso de retroalimentación positiva, donde el incremento de la población amplía el número de hospederos disponibles, que aumentan aún más la población de escarabajos. Este proceso genera un rápido incremento poblacional donde los individuos se dispersarán a predios cercanos. Durante esta fase de dispersión, se inician generalmente nuevos focos de ataque de varios árboles muertos. Estos aparecen generalmente cerca de otros focos previamente establecidos.

¹ Texas A&M Forest Service, Texas, United States. demianfgomez.com

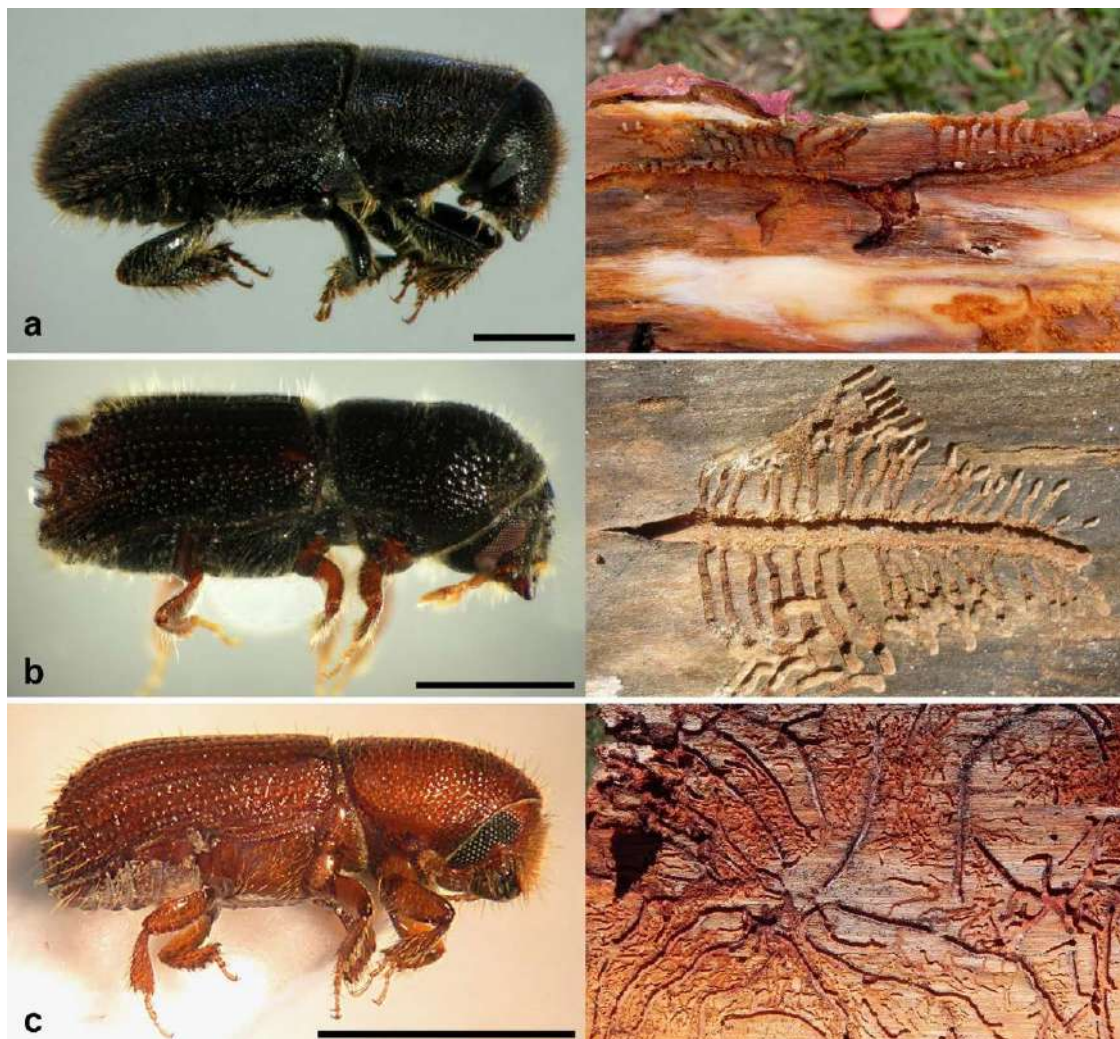


Figura 1. Especies de escarabajos de corteza en Uruguay y sus galerías: a) *Hylurgus ligniperda*, b) *Orthotomicus erosus*, y c) *Cyrtogenius luteus*.

El ataque de los árboles o colonización, ocurre generalmente en dos fases: la atracción primaria y la secundaria. La atracción primaria está ejercida por la planta hospedante y se caracteriza por la llegada de individuos pioneros que se encuentran en baja abundancia, pertenecientes a uno de los sexos. Los árboles atractivos para los escolítidos son aquellos que se encuentran en estado de deficiencia fisiológica (reprimidos o debilitados) debido a heridas, sequía, anegamiento, incendio, derribados por viento o recién cortados. En general, la exudación de resinas en los árboles atacados disminuye por debajo de los parámetros normales. Esto se relaciona con el contenido de agua en el árbol y con una menor presión osmótica en las células. Para localizar estos árboles, los insectos detectan una mezcla de sustancias complejas presentes en la resina; compuesta básicamente por terpenos y sus derivados alcohólicos. Cada especie de escolítido responde a una mezcla de atrayentes generalmente específica. La atracción secundaria se produce una vez concluida la instalación de organismos pioneros; se trata de una colonización masiva y rápida que debilita las defensas del árbol (Figura 2). Los escarabajos de ambrosía, en cambio, presentan acumulación en masa, un proceso de acumulación que dura meses donde la mayoría de los individuos atacan hospedero colonizado y con hongo ambrosial.



Figura 2. Foco de ataque de escoltídos en Uruguay.

Con el objetivo de estudiar las poblaciones de escoltídos en plantaciones comerciales en Uruguay, así como los factores determinantes de su actividad, se realizaron muestreos quincenales desde julio de 2012 a julio de 2013 en una plantación de Tacuarembó, utilizando trampas ventana de intercepción. Por otra parte, se utilizaron trozas cebo para determinar la duración total del desarrollo. El ajuste de los modelos de capturas en función de la temperatura y precipitación, deja en manifiesto el rol determinante que juega este factor en la actividad de los escoltídos para Uruguay. La variación en la actividad de vuelo y la duración generacional refleja diferencias en las condiciones climáticas óptimas para las diferentes especies. *H. ligniperda* presenta actividad de vuelo en períodos de menor temperatura (otoño e invierno), *O. erosus* en períodos de mayor temperatura (primavera y verano) y *C. luteus* en condiciones de alta temperatura con mayor actividad en verano.

El manejo de los escoltídos debe orientarse a reducir y mantener las poblaciones en niveles bajos, considerando tanto medidas preventivas como medidas de mitigación. Debido a que la mayoría de los focos de ataque están generalmente asociados a estrés de las plantaciones, ya sea por elevada densidad de árboles o eventos climáticos, la prevención juega un rol fundamental. Por ejemplo, raleos o reducir desechos de actividades silvícolas, o incluso selección de especies apropiadas para el sitio son de suma importancia. Los raleos son de importancia para mejorar el vigor de los árboles, aumentar la resiliencia, e interferir en comunicación química entre escoltídos, ya que los compuestos que atraen a estos individuos se concentran en rodales de alta densidad. Los raleos deben realizarse generalmente en periodos de baja actividad. En caso de ser realizados en periodos de alta actividad, se deben eliminar los desechos. Este concepto de raleos ha demostrado ser una de las principales herramientas para reducir la susceptibilidad a nivel de rodal y de paisaje, siendo uno de los principales componentes de los programas de prevención en varios países.

En cuanto a los focos activos, el control directo se convierte en la opción principal. Raleos sanitarios removiendo el material cortado con un buffer de árboles que están atacados sin mostrar síntomas, es el principal mecanismo de control (Figura 3). El control directo ha demostrado ser una medida eficiente en varias regiones para evitar el crecimiento de focos de ataque. En el manejo de focos activos, es importante considerar que árboles muertos sin galerías activas son fuente de enemigos naturales y por tanto no siempre es necesaria su remoción. La urgencia para removerlo depende del tiempo de colonización y estación. En primavera o verano es recomendado remover si se observan signos de ataque, mientras que otoño o invierno, remover es recomendado, pero no urgente.



Figura 3. Control directo de foco de *Dendroctonus frontalis* en Honduras mediante raleo sanitario de árboles afectados y un buffer de árboles sin síntomas. Foto: Ronald Billings.

A nivel regional, el manejo de escarabajos de corteza requiere un manejo integrado donde no solo importa la prevención a nivel de árbol o rodal, sino también debemos pensar en un marco de acción integrado con investigación local de las especies de interés. Esto incluye estudio de ecología de especies en la región, estudio de las vías de introducción, programas de detección temprana y respuesta rápida, y creación y mantención de capacidades.



MANEJO Y COMERCIALIZACIÓN DE *Eucalyptus* SPP

Oscar BUPO¹

Dentro de los grandes deberes que tiene pendientes la humanidad es bajar la emisión de CO₂, es decir bajar los índices de polución industrial por un lado y forestar para atenuar el efecto de calentamiento por el otro.

El acuerdo de París de 2015 se está comenzando a implementar, con una mayor concientización en el mundo respecto del problema de calentamiento global. Esto ya está obligando a poblaciones enteras a emigrar a otras regiones; a los eventos naturales como el clima los vivimos todos los días. Grandes zonas del Amazonas y el África subsahariano son casos concretos del efecto negativo causado por los incendios y sobreexplotación de bosques nativos, los cuales garantizan biodiversidad al medioambiente.

Países desarrollados como los europeos, Estados Unidos, o países en desarrollo como China e India aun no pueden bajar los niveles de emisión y llevará tiempo reacomodar su legislación e implementar rigurosamente y de forma exitosa los nuevos objetivos de límites de emisión acordados en París. Creemos que a ambos tipos de países les llevara tiempo implementarlos.

Respecto de la actividad forestal, fuere esta de bosques nativos o plantaciones comerciales pueden convivir perfectamente, más aun mientras la demanda mundial de productos forestales siga vigente.

El recurso forestal bien manejado es un sustento socioeconómico excelente, tanto en especies nativas como en plantaciones comerciales. Genera trabajo y actividad económica sustentable.

El hecho de ser el eucaliptus una especie renovable y producir una primera cosecha en relativamente corto tiempo en clima y suelo favorables, presenta una clara ventaja para un inversor internacional cuando se compara con otras inversiones forestales de lento crecimiento. Es, además, una ventaja sobre otros recursos más escasos y limitados como la minería o hidrocarburos. Para inversores escandinavos, por ejemplo, el tiempo de crecimiento de plantaciones forestales para uso final de pulpa lleva más de 3 veces de tiempo comparado con países como Argentina, Brasil o Uruguay, donde este tiempo se reduce a 10 años. Esto también se puede constatar en la industria maderera, la cual lleva más tiempo de crecimiento del bosque, pero también favorece a la creación de más puestos de trabajo en forma sustentable. El secreto es manejar bien el recurso, con gente que sepa lo que hace y cómo lo hace, ya que la demanda de productos forestales sigue creciendo. Hoy la población mundial pide más papel, más celulosa, más casas de madera, más muebles de madera, puertas de madera, la lista es extensa.

Por lo expuesto y por otros motivos claves para la humanidad como es la necesidad de desarrollar energías renovables, la actividad maderera está destinada a jugar un rol preponderante en la vida del hombre por muchas décadas a futuro.

FILOSOFÍA DE NUESTRO PROYECTO

A principios del año 2000 decidimos buscar tierras para forestar con especies que cumplieran ciertos requisitos básicos de nuestras necesidades comerciales. También buscamos parámetros claves como lluvias anuales de la región, calidad y aptitud de suelo, estabilidad jurídica y social del país, entre otras.

Todas las variables buscadas nos llevaron rápidamente a identificar ciertas especies e híbridos de *Eucalyptus sp.*, apoyados en mi experiencia científica en Sudáfrica, y en Uruguay como destino seguro

¹ Bupo Business Group



de inversión. El lugar elegido fue Paysandú, ROU, un campo de 2000 hectáreas totales. La idea del proyecto era inspirarse en hacer a futuro algo pequeño, noble y de calidad. Algo así como “cajitas de chocolate fino artesanal”, en pequeños volúmenes, para satisfacer al mercado sudafricano en nichos bien identificados.

La idea fue entonces plantar para luego desarrollar productos con objetivo final predeterminado. Esta visión estratégica de 2 décadas se está empezando a cumplir con éxito en los mercados que operamos.

En nuestra sucursal sudafricana, *Bedson Timbers Pty Ltd*, señalamos el camino a seguir desde 1988, una idea a largo plazo con objetivos claramente definidos. Damos mayor importancia a la calidad y presentación de nuestros productos, con fuerte contenido de diferenciación en algunos nichos de mercado.

IMPLEMENTACIÓN

Con la ventaja de ser graduado de Ingeniero Forestal especializado en procesamiento de la madera, decidimos entonces invertir en una superficie de tierra adecuada y manejable. La idea fue entonces plantar para producto final, bajo el concepto “del bosque al hogar”, un proyecto de 20 años con muchas convicciones técnicas y personales. Teníamos asegurado el mercado, nos faltaba asegurarnos la materia prima, seguido de la tecnología apropiada.

1. Silvicultura: de esas 2000 hectáreas se plantaron aproximadamente 1200 y el resto se mantiene en forma de bosque nativo. Las especies principales fueron *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. dunnii*, *Pinus elliotii* y *P. taeda*, álamo, e híbridos de *E. grandis* con *E. urophylla*, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*. La especie *E. grandis* ofrece adaptación a la zona de Paysandú y una densidad apropiada para aplicaciones de carpintería. Las especies *E. urophylla*, *E. tereticornis* y *E. camaldulensis* ofrecen adaptabilidad al suelo y clima, pero además muestran una mayor densidad específica, ideal para aplicaciones de pisos y decks. Otras especies de *Eucalyptus* como *E. dunnii* fueron plantadas por su adaptabilidad a suelos bajos y para obtener flujo positivo de caja de la empresa a 10 años de plantados.

Las plantaciones se efectuaron a partir del año 2005, a una densidad de 1100 plantas/hectárea. Las podas se efectuaron con sierras de mano y escaleras, en árboles de hasta 10 m de altura aproximadamente. Los raleos se hacen con motosierras, en forma selectiva a 700, 500, 220 y eventualmente 120 árboles/hectárea. La tala rasa se efectúa con motosierras en turnos aproximados de 20 años. Luego de varios años de trabajar la poda y raleo, comenzamos a instalar un aserradero en el mismo campo, comenzando a cortar a fines del 2020.

Agregado al proyecto y como interés general menciono que además se plantaron 10 hectáreas de nuez de pecan (*Carya illinoensis*) durante el año 2016.

El proyecto se completa con manejo silvopastoril con capacidad de carga para 600 animales de engorde.

2. Aserrado de troncos: los troncos son llevados libres de corteza a aserrío con un diámetro mínimo de 300 mm (diámetro fino). Los largos son variables en medidas que van desde 2,40 m a 4,50 m. La producción de madera aserrada está planificada para una producción que vaya creciendo de 7000 a 10 000 m³ anuales en un solo turno. Esto se debe a que queremos ir entrenando al personal respecto de qué busca nuestro mercado e ir identificando a los líderes en cada área crítica del proyecto; esto lleva tiempo y dinero. Las áreas importantes para capacitación son afilado, diagramas de conversión de tronco a tablas y clasificación de calidad de tablas.

El sistema de gestión está bien organizado. Los paquetes se ordenan por calidad, largo, grosor, etc. y están debidamente identificados, cosa que nuestra oficina de Sudáfrica pueda tener acceso a esa información y así estar habilitada para reservar cierto stock para exportar a otro mercado. Luego de los primeros meses de corta, decidimos definir 3 calidades que denominamos *Mill Run* (corrida de aserradero), *Select* (selecta) y *Clear* (limpia).



Este 2021 nos estamos dedicando al entrenamiento del personal con planificación de la expansión industrial para el periodo 2022-2025 y a focalizar en 2 mercados principales de madera aserrada, Uruguay y Sudáfrica. Por el momento el aserradero solo produce madera aserrada, y le agregamos valor a esas tablas en Sudáfrica. Algunos cortes de aserrío son específicos para mejorar la calidad de ciertos productos como por ejemplo “*quarter sawn*” (corte en cuartos) para pisos, aunque esto lleve un poco más de tiempo en procesar.

3. Logística: la logística juega un papel importantísimo no solo en las ventas nacionales, sino también internacionales. Temas como distancias, capacidad de carga, fletes, peajes, pueden influir socavando la utilidad por m³ en el caso de madera aserrada. En temas de exportación, por ejemplo en madera aserrada las dimensiones y calidad del producto difieren de los requerimientos locales. Entonces debemos considerar muchas variables dependiendo del mercado elegido.

Las dimensiones del contenedor, los tiempos de entrega, distancia a puerto y entre puertos y tiempo de viaje son algunas variables que hay que analizar antes de exportar.

Muchas veces los proveedores de servicio cotizan en una lengua que no es fácil de entender o interpretar o pocos entienden, lo que puede llevar a errores cruciales respecto del costo unitario. Los tiempos de entrega pueden también influenciar las formas de pago. Cuanto más tiempo de pago y más corto el viaje entre puertos de distintos continentes, más tiempo disponible para el importador en vender y cobrar la madera importada. La cercanía entre los puertos de Montevideo y Durban ayuda sin duda en los tiempos de tránsito de cargas entre Uruguay y Sudáfrica, especialmente cuando comparamos el tiempo de viaje desde otros puertos como Kota Kinabalo (Malasia) o Savannah (Estados Unidos) a Durban. Desde Paysandú hemos hecho cargas en barcaza para transferencia de contenedores a buques en Montevideo con éxito. En resumen, estamos hablando de que el costo de la logística juega un rol preponderante en el precio final de la tabla aserrada en destino final.

Párrafo aparte merece la volatilidad actual de los costos navieros que han subido más del 40 % este año debido a la pandemia de COVID19, el episodio del canal de Suez, la disponibilidad global de contenedores, la demanda global de madera y la suba del precio del petróleo.

4. Mercados: cuando hablamos de mercados decimos que pueden ser locales o internacionales. Con el mercado local se aplican frecuentemente diferentes normas y/o especificaciones a las internacionales; también pueden ser similares como el contenido de humedad presente en la madera, largos, tolerancias, tiempos y formas de entrega, etc.

El decidir exportar es también un desafío que la empresa debe saber decidir y evaluar a priori, definir las preguntas sencillas de marketing tradicional y marketing moderno, que no son pocas. A manera de ejemplo les menciono algunas preguntas a dirimir:

- ¿qué queremos exportar en volumen, calidad y por qué?
- ¿con cuales productos entramos a ese mercado?
- ¿para qué consumidor es ese producto?
- ¿cuál es el poder de compra del mercado consumidor?
- ¿cómo estamos en estructura de costos para poder competir?
- ¿cuántos clientes potenciales tenemos?
- ¿cómo podemos entrar a ese mercado?
- ¿cuáles son las principales amenazas de competidores?
- si incursionamos con un distribuidor local, ¿cómo lo identificamos?
- si compramos una empresa bien establecida, ¿qué riesgos habría?
- ¿hacemos un joint-venture (contrato de colaboración empresarial) o abrimos nuestra propia sucursal?



- ¿vendemos con facilidad online via website, e-commerce, etc.?
- ¿vendemos en forma indirecta a través de otra empresa exportadora?

Durante la vida y crecimiento nuestro bosque pudimos también exportar subproductos. En los últimos años hemos exportado, por ejemplo, troncos a Vietnam y China.

Respecto de nuestra madera aserrada, ha tenido muy buena aceptación en varios mercados, entre ellos Uruguay, Brasil y Sudáfrica. Las exportaciones de madera aserrada a Sudáfrica comenzaron durante el 2020, en plena pandemia. Vemos la exportación de madera aserrada como un paso intermedio de nuestra visión a largo plazo. La idea es producir productos con mayor margen de utilidad donde los costos logísticos sean mínimos. Productos con valor agregado comercializados en el mercado correcto mejoran el proceso de utilización del recurso maderero, mientras se fidelizan las necesidades del cliente. Creemos tener una calidad lo suficientemente buena como para exportar incluso madera aserrada a otros mercados como Estados Unidos y la Unión Europea. No obstante, los volúmenes de producción limitados que disponemos hacen que seamos cautelosos en nuestras ambiciones comerciales con respecto a diversificación de mercados y productos, ya que eso llevaría otros requerimientos en cortes, dimensiones, presentación de paquetes, etc.

Encontrar mercados hoy es sencillo debido a nuestra ubicación geográfica en el mundo, idiomas que hablamos en la empresa, trayectoria comercial, presencia histórica en el mercado africano, etc. El desafío mayor es, sin embargo, mantener esos mercados, una vez conquistados.

Normalmente la estrategia exportadora de crecimiento para cualquier empresa, especialmente las PYME, debería ser orgánica, con una visión clara de qué es lo que se pretende lograr a largo plazo. La inversión económica y de tiempo en cualquier mercado debe ser justificada con datos reales, con un análisis del mercado y visitas a esos mercados.

5. Productos: la presencia de nuestra empresa en Sudáfrica desde 1988 nos permite conocer bastante bien qué productos necesita el mercado en términos de aplicaciones en madera sólida.

En el caso de otros países africanos hemos hecho investigación antes de ofrecer cualquier producto. Esto se debe a diferencias en el poder económico de cada país, disponibilidad de materia prima, *know-how* (saber cómo hacer) disponible en ese país, tecnología disponible para procesar materia prima, etc. Hemos visto casos donde un país puede ser importador neto de madera sólida como Egipto, Marruecos o Argelia, mientras que Gabon o Camerún son exportadores de productos de madera aserrada o productos con valor agregado. Los productos que hemos identificado en algunos de estos mercados son elaborados en nuestra planta de Pretoria, Sudáfrica, elaborados con madera sólida o combinaciones con otros materiales. Productos típicos son muebles de jardín, componentes para muebles, molduras, zócalos, deck, pisos y combinaciones de madera sólida con tableros para ensamblar muebles de interior. También combinamos paneles de madera sólida con piezas o elementos de aluminio o acero. Cada uno de estos productos conlleva un trabajo más exhaustivo y en mayor detalle en cuanto a especificaciones técnicas, calidad, presentación, empaque, etc.

El desafío entonces para un productor forestal, aserradero o fabricante PYME es optimizar el recurso maderero en cantidad y calidad consistente para servir un mercado, sea este regular o potencial.

Destaco que, al hacer investigación de mercado, los productos identificados comienzan una nueva era, pero luego se transforman en nuevos o mejorados ya que se van modificando con el tiempo o incluso por tendencias requeridas por ese mercado, tal cual podemos observar en casos como las industrias de zapatos, ropa, computadoras o autos. Los principios de *marketing* son similares pero el acceso a internet, *banking*, robótica, etc. hacen hoy un mundo mucho más interactivo que antes. Hoy el consumidor situado en la ciudad portuaria de Nairobi, en la zona central de Kenia, puede ordenar pisos de madera sólida en cajas de cartón por internet y recibirlo desde un centro de distribución en Mombasa



unas pocas horas después de abonado desde su celular. La distancia entre Nairobi y Mombasa son casi 500 km.

Los productos también cambian con las tendencias dictadas por arquitectos o diseñadores con respecto a materiales, combinación de elementos en el diseño, colores de terminación de madera claros, oscuros o intermedios como gris o miel. En Sudáfrica por ejemplo, en los años 80 la tendencia eran terminaciones de color oscuro como el nogal, caoba, lapacho, mientras que hoy son preponderantes los colores claros como los de roble, álamo y fresno, donde se logra un efecto de “agrandar visualmente” un espacio chico y convertirlo en más funcional e iluminado apoyado por el diseño arquitectónico.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Tener una visión a largo plazo e implementarla a rajatabla es un buen camino para lograr los objetivos avizorados por los fundadores del proyecto.

Crecer sin visión empresarial puede ser peligroso. El desafío es optimizar el recurso a su máximo potencial.

Promover las buenas prácticas silvícolas como poda efectuada correctamente y raleos bien planificados. Buscamos madera de calidad, no volúmenes de baja calidad.

Buscar de plantar especies aptas para la aplicación final identificada o sugerida, por ejemplo *E. camaldulensis* para deck.

Es pertinente destacar que ni toda la producción de aserradero será de calidad *clear*, ni todo el material obtenido será nudoso. Por ende, hay que decidir si se busca focalizar en invertir en cantidad de producción de madera aserrada o en calidad consistente de un producto elaborado para un mercado en particular.

El procesamiento y conversión de troncos en tablas debe ser ejecutado de tal manera que habría que estandarizar cortes y tolerancias para el mercado identificado.

Si fuera posible, tratar de integrar toda la cadena productiva, o asociarse con empresas que se complementen con la suya para así poder optimizar costos de logística y darle al mercado lo que necesite en tiempo y forma. Defina cuál mercado quiere abastecer basado en investigación técnico-comercial confirmando “*in-situ*” las decisiones teóricas observadas. Para identificar un producto con potencial, pregúntele siempre a sus clientes qué necesitan. Después invierta en tecnología.

No vendemos productos sino ideas y soluciones cristalizadas en forma de productos. Esta interpretación conceptual es para nosotros la forma más noble y genuina de crear riqueza genuina y sustentable.



MODELIZACIÓN ECONÓMICA FORESTAL EN MESOPOTAMIA SUR

Demián OLEMBERG¹, Luis VERA², Mario FLORES PALENZONA³, Carlos de la PEÑA²

Este trabajo busca construir un modelo económico forestal representativo de las condiciones sectoriales típicas para la región forestal del noreste de la provincia de Entre Ríos, y sur de la provincia de Corrientes. La iniciativa es parte de la actividad de modelización contemplada en el proyecto estructural de INTA “Desarrollo de una silvicultura sostenible de bosques implantados de alta productividad”, aportando al objetivo específico de ajustar modelos de estas características para las distintas regiones forestales de país, y con la consigna de obtener el producto concreto de instrumentos de cálculo disponibles para el público, que sean aplicables para estimar costos e indicadores de rentabilidad de las plantaciones de *Prosopis alba*, *Eucalyptus*, *Salicáceas* y *Pinus* en dichas regiones. En este caso desarrollamos el modelo correspondiente al cultivo de *Eucalyptus* en la Mesopotamia Sur.

En las distintas regiones forestales de nuestro país hay equipos de profesionales, tanto del INTA, como del MAGyP, así como también de otras instituciones como universidades, colegios profesionales, etc., que llevan adelante la modelización de los esquemas productivos –tanto típicos como experimentales– en cada caso, y que mantienen actualizadas bases de datos de precios relevantes para el sector, así como los resultados de sus modelos, tanto para fines de investigación académica, como para el uso profesional y comercial, a la hora de evaluar inversiones, y en la planificación y ejecución de políticas públicas. En el caso del equipo económico-forestal de Mesopotamia Sur, en la E.E.A. Concordia se viene publicando en forma continua desde hace ya décadas la “Planilla de precios forestales de la región NE de Entre Ríos”⁴ (Sánchez Acosta et al., 2007). La misma es el resultado de un esfuerzo por mantener la continuidad de las series de datos, y posibilita especialmente el seguimiento de modelos técnico-económicos forestales de la región, tarea que el equipo local viene desarrollando con regularidad, y que tiene por productos múltiples modelos detallados para las diferentes opciones silviculturales que se plantean.

El presente trabajo de modelización en particular propone un enfoque distinto y complementario al generalmente adoptado en los ejercicios de construcción de modelos económicos forestales en nuestro país. Aquí buscamos una transición progresiva de lo que llamamos la lógica del presupuesto o de costos a la lógica del modelo; tal es el valor agregado que busca aportar.

La idea de costos forestales nos lleva más bien a pensar en la lógica presupuestaria. La información allí ya está completa, fija en un momento del tiempo, y encapsulada. De esta forma, si un usuario de este tipo de instrumento desea conocer el costo de implantación de una hectárea de forestación de tales características, lo que obtiene es el monto monetario resultante, según las condiciones dadas, o sea, para el momento en que se realizó la última actualización de los costos, para las variantes técnicas indicadas, y para toda otra circunstancia vigente. Tener modelos forestales que propongan una lógica no presupuestaria, sino preferentemente dinámica –más cercana a la generalidad de un modelo económico– nos lleva más a pensar en una estructura que solo varía según la definición técnica, y cuyos resultados son función de los datos que se ingresen como insumos.

El presupuesto tiene por características:

- es exacto, y responde a un caso particular determinado.
- requiere actualización permanente de precios y otras varias condiciones.

¹ Centro de Investigación en Economía y Prospectiva, INTA. olemberg.demian@inta.gob.ar

² Estación Experimental Agropecuaria Concordia, INTA.

³ Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

⁴ Disponible públicamente en: <https://inta.gob.ar/documentos/planilla-de-precios-forestales-de-la-region-ne-de-entre-rios>.



- está basado en montos, denominados en moneda corriente.
- El desafío para obtener el resultado buscado: ser realista con el modelo técnico subyacente, y tener los valores actualizados.
- Si se quiere elaborar un plan de negocios, o comparar el desempeño económico de una unidad con una referencia ("benchmark"), ciertamente conviene basarse en un presupuesto.

El modelo, a diferencia del anterior:

- es genérico; no refiere a un caso concreto particular.
- su estructura permanece constante; los precios y otras variables de interés son insumos.
- está basado en funciones que responden a las variaciones de los insumos provistos.
- el desafío para obtener el resultado buscado: lograr capturar correctamente la relación funcional entre variables, de forma de poder dar respuesta a las variaciones experimentales.
- Si se quiere simular diferentes escenarios, predecir el impacto general de determinadas variantes, medir sensibilidades o evaluar transformaciones a lo largo del tiempo, conviene basarse en un modelo.

El modelo busca esencialmente simplificar una realidad compleja en una relación funcional que la representa, la acota, la estiliza, y en cierta medida, siempre la distorsiona. Es por esto que modelar implica ganar poder explicativo al costo de perder información detallada. En este proceso, simplificar es potenciar el modelo: en la medida que el modelo responde lo que buscamos insumiendo menos variables de entrada, es más eficiente, más potente, y las conclusiones analíticas son más claras. Complementariamente, así también el grado de detalle y referenciación directa de casos puntuales o particulares se puede ver desdibujada, tal como un dato particular en un promedio.

En la presentación de este trabajo ahondamos en el proceso de construcción analítica, y la estructura de variables en que se basa, a los fines de poder computar los resultados que siguen a continuación.

Desarrollo del modelo técnico forestal Mesopotamia Sur

En 2020, con el objetivo de generar un modelo de las características señaladas para la citada región, se comenzó por bosquejar diferentes esquemas de plantación, manejo y producción, principalmente en eucalipto –aunque algún caso de pino también se contempló-. Si bien hay factores comunes, también se encuentran heterogeneidades significativas, lo cual dificulta la obtención de un modelo único. Por ello se buscó definir un esquema que, aunque básico y preliminar, pueda considerarse razonablemente válido al menos para la región del Río Uruguay, en Entre Ríos y sur de Corrientes para eucalipto. El mismo incluye consideraciones agroclimáticas y de sitio propios de esta región.

Como antecedentes directos, contamos con un modelo detallado de estimación de costos y resultados de un establecimiento forestal en el noreste de Entre Ríos (Vera & Larocca, 2004). En la construcción de este nuevo modelo técnico colaboraron con los autores Federico Caniza, María de los Angeles García, Ciro Mastrandrea (INTA), Juan Pablo Zabala y Sebastián Bessonart (MAGyP).

La estructura productiva básica del caso modelado es un establecimiento de 50 ha, a los fines de prorratear determinados costos estructurales o fijos, de supervisión, administración, traslados, entre otros. Las tareas se pueden realizar con personal y maquinaria propia o –más frecuentemente– mediante el trabajo de contratistas según el caso, lo cual se considera aquí la regla general. Respecto de los antecedentes, se toman nuevas referencias sobre productividad o rendimiento de las diferentes tareas incluidas en el esquema de manejo. La modalidad de trabajo con contratista adquirió mayor difusión en Entre Ríos en las últimas décadas, así como es muy habitual en Corrientes.

En principio, para poder ir viendo los distintos efectos sobre una base sin distorsiones, no se incluyen aportes económicos de la Ley N° 25 080 y sus modificatorias. Del mismo modo, no se incluye el efecto de impuestos, por lo que los resultados observados son antes de impuestos. Otros aspectos específicos se detallan el antecedente metodológico.



En cuanto a los volúmenes producidos, estos surgen de referencias medias habituales. Se incluye un raleo a pérdida a los 2 años, eliminando 300 plantas, con un remanente de 700 en pie. La tala rasa es a los 12 años, resultando en una cosecha de 380 toneladas.

Para la construcción analítica del modelo, cálculo de relaciones de precios y coeficientes intermedios, se tomaron los precios vigentes a diciembre de 2019. Se contemplan amortizaciones de maquinaria y equipos bajo supuestos de una utilización normal y aprovechamiento medio respecto de la escala productiva. No se incluye en el modelo el valor de la tierra; de forma tal que los resultados se interpretan como parciales, sirviendo así, por ejemplo, para comparar alternativas de uso de un mismo predio, entre otras interpretaciones posibles.

Esquema sintético de plantación y manejo:

Año	Tarea	Tipo
0	Control de plagas	De hormigas, pre y pos plantación
0	Control de malezas	Aplicación de glifosato cobertura total
0	Preparación del terreno	Rastra pesada en cobertura total, y 2 pasadas de rastra Hartwich
0	Control de malezas	Herbicida preemergente en banda de plantación
0	Plantación	Marcación, poceado, plantación, riego de asiento. Plantas.
0	Fertilización	Fertilización de arranque
0	Control de malezas	Glifosato en entrelínea
1	Control de malezas	Glifosato en línea corrida en banda de plantación
1	Control de malezas	Glifosato en entrelínea
1	Control de plagas	Hormigas
2	Poda	Poda baja (a 2,5 metros)
2	Raleo	A pérdida, de 300 pl/ha; remanente de 700 pl/ha.
3-12	Anuales o periódicos	Limpieza de caminos y cortafuegos
12	Tala rasa	

Algunos resultados económicos

Una vez definido el modelo técnico y computadas las relaciones entre variables los primeros resultados que se pueden obtener son el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), y el costo forestal total (CFT⁵), por enumerar algunos posibles. A partir de allí, un aprovechamiento más elaborado del modelo permite estudiar las sensibilidades de estos indicadores ante variaciones de distintos factores (precios puntuales, relación entre precios, tipo de cambio, valor del producto, cambios técnicos o de rendimiento, etc.), construir una serie histórica en base a las series de las variables-insumo, o realizar comparaciones entre modelos técnicos alternativos.

A modo de resumen, incluimos aquí los resultados básicos obtenidos en el ejercicio de modelización, basado en los valores vigentes al año 2020:

TIR	14,60%	
VAN (5%)	\$118.678	Las tasas de descuento contempladas se indican entre paréntesis
VAN (15%)	-\$2.600	
CFT	entre \$74.323 y \$93.169	Para tasas de descuento 5 % y 15 % respectivamente. El CFT se expresa como suma simple de los desembolsos.
Valor presente CFT	entre \$55.707 y \$62.216	Para tasas de descuento 15 % y 5 % respectivamente. El CFT se expresa como valor presente al año 0 de la suma de los desembolsos.

El modelo económico otorga resultados de VAN y TIR compatibles con los que surgen de los modelos

⁵ CFT: Es el máximo valor acumulado que alcanza el flujo de fondos negativo durante el ciclo económico modelado, es decir, la suma de la inversión que es necesario desembolsar hasta que aparecen ingresos (en este caso la corta final) en el flujo de fondos.



existentes previos. El modelo es rentable a una tasa de descuento de referencia superior a 14,60 %, para los precios vigentes. Los indicadores son muy sensibles a variaciones en la tasa de descuento, al ser la dimensión financiera de gran peso en la estructura económica de este tipo de negocio.

Una exploración simple del costo de la tonelada de madera producida y su sensibilidad se puede obtener calculando el precio límite mínimo que haría viable el negocio a una tasa de descuento dada. En este caso, a modo de ejemplo, para poder exigir al proyecto un 15 % de rentabilidad, el precio del producto resultante es un 4,2 % superior al de mercado; y alternativamente, el costo calculado de esta manera se reduciría en un 38 % si se exigiera una rentabilidad del 10 %, siempre a igualdad de otras condiciones.

Comentarios finales

Hasta aquí se han expuesto los objetivos buscados con el ejercicio de modelización, las definiciones técnicas elementales de la silvicultura del modelo para Mesopotamia Sur, y algunos indicadores básicos de los resultados económicos obtenidos.

REFERENCIAS

SÁNCHEZ ACOSTA, MARTÍN; VERA, LUIS; MASTRANDREA, CIRO (2007). Valorización de la cadena forestal del noreste de Entre Ríos, a través de la planilla de precios forestales 1983-2007. *III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales*. Buenos Aires 3-5/07/2007.

VERA, L.; LAROCCA, F. (2004). Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el noreste de Entre Ríos. *Manejo Tradicional vs. Manejo Con Raleos. Proyecto Forestal de Desarrollo*. PIA, 01–03.

http://www.inta.gov.ar/concordia/info/documentos/Forestacion/costos_anecon_prodmadera.pdf

Trabajos voluntarios



C-27

n. 109



DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DENDRO Y DASOMÉTRICAS DE *Pinus taeda* EN BELLA VISTA (CORRIENTES, ARGENTINA)

Oscar W. REY¹, Cesar G. TORRES¹, Cecilia LEZCANO¹

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el análisis estadístico descriptivo de las principales variables dendro y dasométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina). Se trabajó con datos de diámetro normal (Dn) y altura total (Ht) obtenidos entre los 3 y 10,2 años de edad en un ensayo de fertilización de la especie. Las variables dasométricas calculadas corresponden al Dn promedio (\overline{Dn}), Ht media (\overline{Ht}) y el área basal (G). El factor aplicado no generó efectos diferenciales, ello permitió explorar las variables dasométricas con el conjunto de los datos. Se observó un elevado nivel de correlación entre las variables dasométricas que resultó inversamente proporcional a la edad. El trabajo es concluyente sobre la necesidad de descripciones detalladas del comportamiento de las variables en el estudio de sistemas forestales, aún más para sustentar inferencias. A su vez, se destaca la conveniencia de estructuras de medición consistentes para aminorar problemas recurrentes a datos longitudinales.

Palabras Claves: *pino taeda*, análisis estadístico descriptivo, correlación

1. INTRODUCCIÓN

El género *Pinus* es uno de los más plantados en la provincia de Corrientes. De acuerdo con el último inventario provincial (CFI 2018) ocupa un 73 % de la superficie forestada (alrededor de 352 mil ha). En particular, la especie *Pinus taeda* es un material destacado en la realización de plantaciones operativas, ya que presenta buenos rendimientos (Aparicio, 2017; Pezutti y Caldato, 2013; Belaber y Rodríguez, 2008; Fassola et al., 2002).

Estas forestaciones se caracterizan por sus principales variables dendrométricas (Martins et al., 2014): diámetro y altura, particularmente el diámetro medido a 1,3 m (Dn) y la altura total (Ht). La relevancia de estas variables reside en que a partir de las mismas se genera otra información, tal como relaciones hipsométricas, sección normal (Sn) y volumen total (Vt). Dichas variables suelen describirse solamente por los valores de centralidad (Pezutti y Caldato, 2013; Belaber y Rodríguez, 2008; Fassola et al., 2002). El análisis de las medidas de posición no es informativo pues no describen por completo el perfil de los datos. Para entender la distribución de cualquier variable es necesario determinar valores centrales y parámetros de dispersión, y en sistemas forestales es necesario describir cómo estos cambian en el tiempo. Este trabajo se propone evaluar, mediante análisis estadístico descriptivo, el comportamiento y distribución de las principales variables dendrométricas y dasométricas en plantaciones de *P. taeda* realizadas en suelos arenosos de Bella Vista (Corrientes, Argentina).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon datos de inventario de un ensayo de fertilización de *P. taeda*, cuyo objetivo inicial era evaluar la respuesta a diferentes dosis de fosfato diamónico. Dicho ensayo se instaló en la EEA Bella Vista (Corrientes, Argentina) en el mes de octubre de 1995. El suelo fue identificado como Paleudalfes Psamménticos de la serie lomas. Los niveles de materia orgánica, fósforo y pH fueron de 0,20 %, 4,17 ppm y 6,4, respectivamente (Aparicio y López, 1997). El material de *P. taeda* correspondió a semillas de origen Marion, se empleó una densidad de 833 árboles.ha⁻¹. Como resultado de adicionar 50 gr.planta⁻¹ a la dosis de fosfato, a partir de 0 hasta llegar a 300 gr.planta⁻¹, y cubrir o no con aserrín, el ensayo contó con 14 tratamientos en 3 repeticiones de 20 plantas cada una. El ensayo fue sujeto a dos

¹EEA INTA Bella Vista (rey.oscar@inta.gob.ar)



raleos selectivos a los 4 y 5,5 años, las respectivas densidades residuales resultaron en 580 y 415 árboles.ha⁻¹.

Los datos de inventario analizados corresponden a las mediciones realizadas a las edades de 3, 5,4, 6,2, 7,3, 9,2 y 10,2 años. Las variables medidas fueron diámetro normal (Dn) y altura total (Ht), la primera medida con cinta diamétrica (error de medición de 0,1 cm) y la segunda con hipsómetro (Vertex IV) de 0,1 m de precisión (la última edad no cuenta con mediciones de Ht). Tanto para Dn como para Ht, se estimaron los términos de variabilidad entre (σ_{τ}^2) y dentro (σ_{ϵ}^2) de tratamientos, además de la variabilidad dentro de la parcela (σ_d^2). Formalmente, las expresiones de cálculo corresponden a:

- $\sigma_{\tau t}^2 = \frac{3}{13} \sum_j^{13} (\bar{X}_{jt} - \bar{X}_t)^2$.
- $\sigma_{\epsilon t}^2 = \frac{1}{28} \sum_j^{14} \left[\sum_k^3 (\bar{X}_{kjt} - \bar{X}_{jt})^2 \right]$
- $\sigma_d^2 = \frac{1}{42n_t - 1} \sum_j^{14} \sum_k^3 \sum_i^{n_t} (X_{kjit} - \bar{X}_{kjt})^2$

Donde los subíndices k, j, i y t indican la k-ésima repetición del j-ésimo tratamiento que afecta al i-ésimo árbol a la t-ésima edad de la variable X, Dn o Ht. A las t edades, en cada parcela (k-ésima repetición del j-ésimo tratamiento) las variables dasométricas que se calcularon fueron el diámetro normal promedio, \bar{Dn}_{jkt} , la altura total promedio, \bar{Ht}_{jkt} y el área basal, $G_{jkt} = sp^{-1} \sum_i S n_{jk it}$; donde sp es la superficie en hectáreas de la parcela y Sn la sección transversal a la altura normal en m². El análisis estadístico descriptivo (AED) se basó en obtener las medidas de posición y dispersión; las relaciones entre variables se exploraron mediante diagramas de dispersión. La forma de las relaciones se evaluaron mediante curvas de regresión local (loess) (Jacoby, 2000) y el grado de relación con el coeficiente de correlación estimado como $\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$ (X e Y enuncian dos variables genéricas). El error estándar de la estimación del coeficiente de correlación se calculó como $\sqrt{(1 - \rho^2)/(n - 2)}$ (Bowley, 1928).

3. RESULTADOS

En el Gráfico 1 se denota el comportamiento del Dn con la edad (Gráfico 1A) y de la Ht en relación al Dn (Gráfico 1B), en cada una se discrimina por tratamiento. El solapamiento de las regresiones loess por tratamiento, que acompañan la evolución del Dn, indican que no existió comportamiento diferencial ocasionado por el factor en estudio. La fuerte relación entre el Dn y la Ht, Gráfico 1B, permitió trasladar la afirmación anterior a la variable Ht.

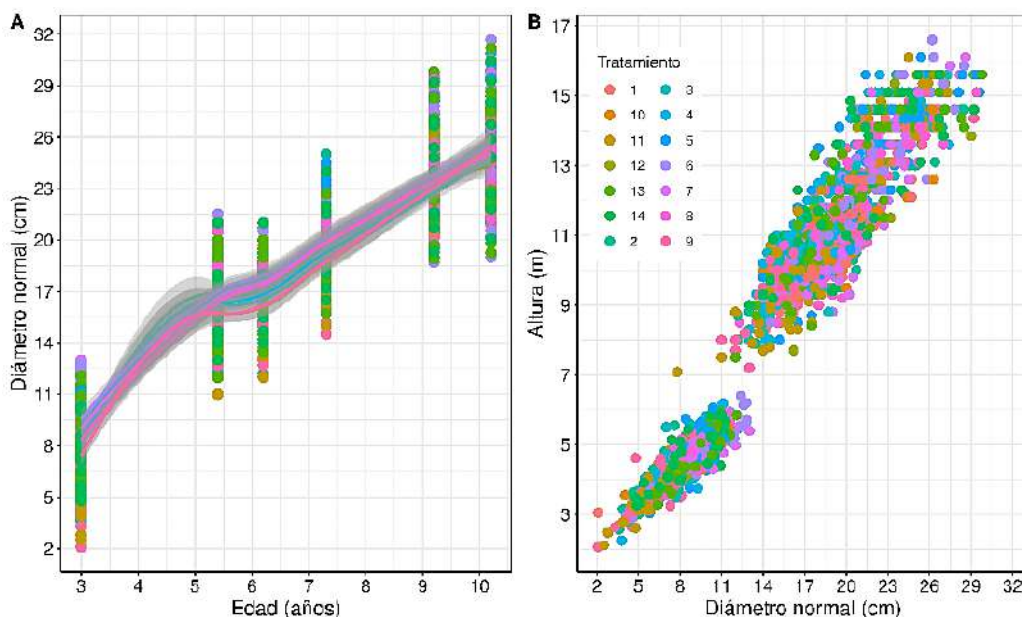


Gráfico 1. Principales variables dendrométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina): **A)** comportamiento temporal del diámetro normal (Dn) y **B)** relación hipsométrica (Altura ~ Dn).



El Cuadro 1 presenta, para cada edad, los valores medios del Dn , la varianza entre (σ_t^2) y dentro de tratamientos (σ_ϵ^2), y la varianza dentro de la parcela (σ_d^2). En el mismo, se observa que la variabilidad entre y dentro de tratamiento disminuyó con la edad, mientras que aumentó la observada en la parcela. A su vez, σ_t^2 siempre fue considerablemente menor a σ_ϵ^2 , lo cual permite reafirmar que los tratamientos no produjeron comportamientos diferenciales en el Dn .

Cuadro 1. Estadísticos de posición y varianza del diámetro normal por edad en *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina).

Edad (años)	\overline{Dn} (cm)	σ_t^2 (cm ²)	σ_ϵ^2 (cm ²)	σ_d^2 (cm ²)
3,0	8,50	0,37	1,70	2,51
5,4	16,70	0,27	1,45	2,89
6,2	16,98	0,30	1,27	2,52
7,3	19,61	0,26	1,21	3,43
9,2	23,95	0,09	0,42	5,12
10,2	24,83	0,10	0,43	5,89

Nota: \overline{Dn} es el promedio del diámetro normal, σ_t^2 varianza entre tratamientos, σ_ϵ^2 dentro de tratamientos y σ_d^2 dentro de la parcela.

El Cuadro 2 presenta los estadísticos de posición y de variabilidad de la Ht , equivalente al caso del Dn (Cuadro 1). A su vez, el comportamiento de la variabilidad fue similar, aunque con menor dispersión, al reportado en la variable Dn .

Cuadro 1. Estadísticos de posición y varianza de la altura total por edad en *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina).

Edad (años)	\overline{Ht} (m)	σ_t^2 (m ²)	σ_ϵ^2 (m ²)	σ_d^2 (m ²)
3,0	4,53	0,05	0,20	0,41
5,4	9,86	0,05	0,29	0,63
6,2	9,98	0,05	0,28	0,59
7,3	11,59	0,14	0,41	0,83
9,2	14,17	0,06	0,22	0,74

Nota: \overline{Ht} es el promedio del diámetro normal en cm, σ_t^2 la varianza entre tratamientos, σ_ϵ^2 varianza dentro de tratamientos y σ_d^2 varianza dentro de la parcela.

En ambas variables, Cuadro 1 y Cuadro 2, se pudo observar que la variabilidad relativa al promedio fue acotada. Esta medida disminuyó de 0,18 a 0,09, entre la primera y la última medición, en el Dn y para la Ht cayó de 0,14 a 0,06.

El AED de las variables dendrométricas evidenció el efecto no significativo de los tratamientos, por ello no se los discriminó en el correspondiente AED en las variables dasométricas. En el Cuadro 3 se presenta la estimación de las correlaciones entre las variables dasométricas analizadas. Estos resultados mostraron un elevado nivel de relación, siempre superior a 0,9, evaluado con alta precisión y error estándar siempre menor que 0,03.

Cuadro 2. Correlaciones entre variables dasométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina).

Correlación	Estimación	Error Estándar
$cor(\overline{Dn}, \overline{Ht})$	0,99	0,01
$cor(\overline{Dn}, G)$	0,96	0,02
$cor(\overline{Ht}, G)$	0,93	0,03

El Gráfico 2 denota gráficamente las relaciones entre las variables dasométricas en estudio. En él, los paneles de la diagonal principal presentan los comportamientos temporales y en las diagonales secundarias las relaciones entre variables, de forma gráfica en la parte inferior y numéricamente en los paneles superiores. La curva de rendimiento del \overline{Dn} , Gráfico 2 A1, fue similar a la observada en la \overline{Ht} , (Gráfico 2 B2). Mientras la del Área Basal (Gráfico 2 C3) difirió de forma consistente como consecuencia de los raleos. En estos gráficos se evidencia la heterocedasticidad observada en los tres procesos, que para el \overline{Dn} y la \overline{Ht} se describió en el Cuadro 1 y en el Cuadro 2.

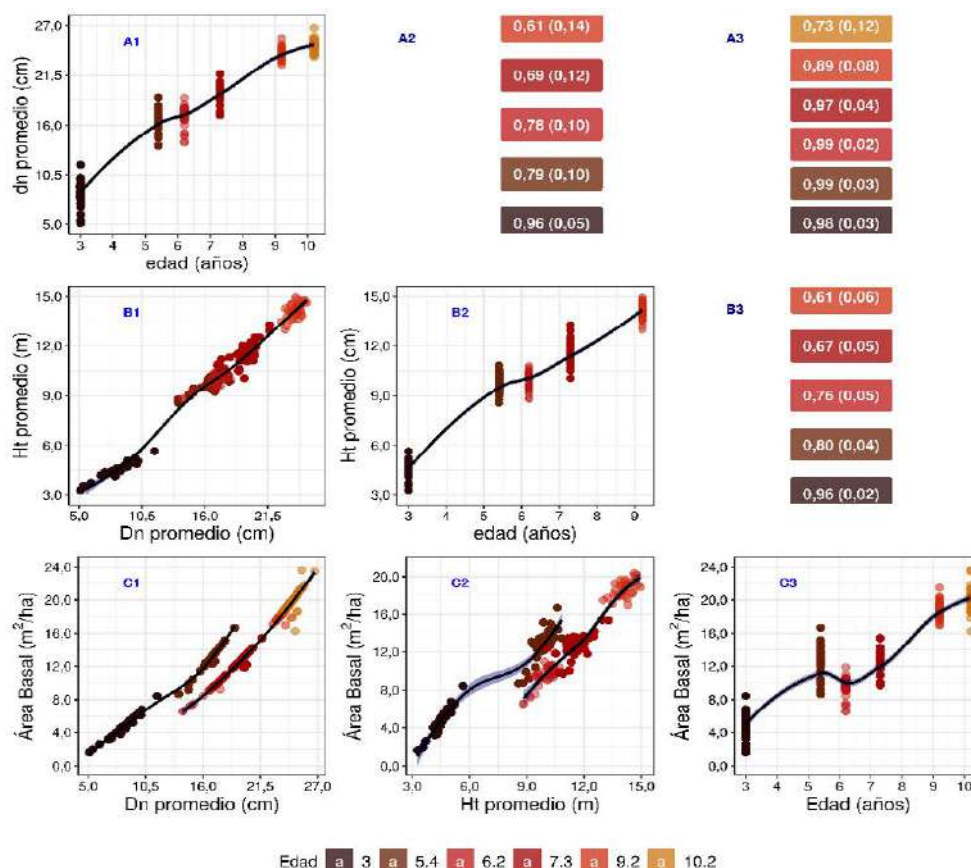


Gráfico 2. Rendimiento y relaciones en el tiempo de las variables dasométricas de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, Argentina). Rendimiento del \overline{Dn} (A1), de la \overline{Ht} (B2) y de G (C3). Relaciones: \overline{Ht} vs \overline{Dn} (B1), G vs \overline{Dn} (C1) y G vs \overline{Ht} (C2). Correlaciones (valor entre paréntesis denota error estándar): \overline{Dn} con \overline{Ht} (A2), \overline{Dn} con G (A3) y Ht con G (B3).

En la figura B1 del Gráfico 2 se denota que, en el período observado, la forma de la relación hipsométrica promedio fue aproximadamente lineal. En su simétrico, Gráfico 2 A2, se observa que el valor de la correlación entre ambas variables disminuyó de manera consistente, conforme la edad se incrementó. Finalmente, C1 y C2 del Gráfico 2 presentan la relación de G con el \overline{Dn} y la \overline{Ht} , respectivamente. El efecto de los raleos, determinó que se precisan funciones con al menos dos ramas para modelar estas relaciones. Sus simétricos, A3 y B3 del Gráfico 2, presentan los respectivos valores de correlación y denotan como esta disminuyó; se destaca que la más estable fue la observada entre el \overline{Dn} y G .

4. DISCUSIÓN

El presente trabajo se centra en la descripción del comportamiento de variables dentro y dasométricas, no en el estudio de los factores que se aplican. Aparicio y López (1997) explicaron el no significativo efecto de la fertilización, lo cual se atribuye a la falta de estructura y baja capacidad de retención del suelo. Por otra parte, el raleo se aplicó en un solo esquema; por lo tanto, no se puede analizar comparativamente.

En general, no se cuentan con descripciones detalladas del comportamiento de las variables aquí estudiadas que permitan una comparación consistente. Se podría afirmar que los valores promedio de Dn y Ht se encuentran en el rango esperable. El \overline{Dn} a los 9,2 años (23,95 cm) es superior, por un poco más que 2 cm, al encontrado por Aparicio (2017) a similar edad e inclusive al máximo valor reportado por Pezutti y Caldato (2013) a los 13 años. Los trabajos citados anteriormente describen resultados en la misma región, trabajan con el doble de densidad, no reportan manejo silvícola, y evalúan factores que solo afectan el establecimiento de la plantación; Aparicio (2017) evalúa técnicas de preparación de terreno y en Pezutti y Caldato (2013) se estudia el control inicial de malezas. En cuanto a la Ht , en



Aparicio (2017) se reportó 13,9 m a los 9,5 años, valor que se aproxima a los 14,17 m de los 9,2 años obtenidos en el presente trabajo. Belaber y Rodríguez (2008), al evaluar el rendimiento de diferentes fuentes semilleras en el NO de Misiones, registraron promedios de Ht entre 10,5 a 12,79 m a los 7 años, en consecuencia la \overline{Ht} de 11,59 m a los 7,3 años resulta competitiva en relación a las mencionadas.

Conforme a Torres et al. (2017) es necesario emplear estructuras complejas para modelar la variabilidad en datos de ensayos forestales. En el presente se evidencia la no estacionariedad de los procesos estocásticos evaluados, lo cual resulta congruente con el mencionado trabajo y determina la necesidad de generar modelos conjuntos conforme al enfoque de Pourahmadi (1999) y Zimmerman et al. (2001). Es necesario resaltar que, bajo este escenario de modelos de variabilidad con cierto nivel de complejidad, no contar con estructuras de mediciones rectangulares, equiespeciadas y frecuentes, constituye un problema adicional al momento de estimar e inferir. Por otra parte, la caída de la correlación entre las variables dasométricas y las discontinuidades de las relaciones del Área Basal ponen aún más en relevancia la necesidad de contar con mediciones frecuentes.

5. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se brinda una descripción adecuada del comportamiento de variables dendro y dasométricas mediante el empleo de sencillas técnicas de AED. Mediante dicho análisis se concluye fehacientemente que la estimación de la correlación global entre variables subestima dicha relación, la cual a su vez disminuye con la edad y que se precisan estructuras de medición más consistentes.

6. LITERATURA CITADA

- APARICIO, J. L. (2017). Respuesta de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y pino híbrido a cuatro técnicas de preparación del terreno en el sudoeste de corrientes. Resultados a los 13 años de edad. Jornadas Forestales de Entre Ríos. 31. 2017 10 5-6, 05 y 06 de Octubre de 2017. Concordia. AR.
- APARICIO, J. L., Y LOPEZ, J. A. (1997). Respuesta de *Pinus taeda* a la fertilización con fosfato diamónico y al agregado de una cubierta de aserrín a los 36 meses de crecimiento. II Jornada Forestal. EEA INTA Bella Vista. Bella Vista. Corrientes. A1-A6.
- BELABER, E. C., Y RODRÍGUEZ, G. H. (2008). Crecimiento al 7° año de *Pinus taeda* L. provenientes de distintas fuentes semilleras comerciales en el NO de Misiones. Jornadas Técnicas, Forestales y Ambientales. 13. 2008 06 05-07, 5-7 de junio de 2008. Eldorado, Misiones. AR.
- BOWLEY, A. L. (1928). The standard deviation of the correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, 23(161), 31-34.
- Martins, F. B., Soares, C. P. B., y Silva, G. F. D. (2014). Individual tree growth models for eucalyptus in northern Brazil. *Scientia Agricola*, 71, 212-225.
- FASSOLA, H. E., MOSCOVICH, F. A., FERRERE, P., Y RODRÍGUEZ, F. (2002). Evolución de las principales variables de árboles de *Pinus taeda* L. sometidos a diferentes tratamientos silviculturales en el Nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Ciência Florestal*, 12, 51-60.
- JACOBY, W. G. (2000). Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables. *Electoral Studies*, 19(4), 577-613.
- PEZZUTTI, R., Y CALDATO, S. (2013). Crecimiento de plantaciones de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* var *elliottii* x *Pinus caribaea* var *hondurensis* de 13 años de edad bajo diferentes modalidades del control de maleza. In Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Puerto Iguazú, Misiones.
- POURAHMADI, M. (1999). Joint mean-covariance models with applications to longitudinal data: Unconstrained parameterisation. *Biometrika*, 86(3), 677-690.
- TORRES, C. G., ALFARO, J., ESTEBAN, P., Y LAURA, D. (2017). Selección de estructuras de (CO) varianzas en el análisis de datos en ensayos silviculturales. In Congreso Interamericano de Estadística. 2017 10 17-20, 17 al 20 de Octubre de 2017. Rosario. AR.
- ZIMMERMAN, D. L., NÚÑEZ-ANTÓN, V., GREGOIRE, T. G., SCHABENBERGER, O., HART, J. D., KENWARD, M. G. (2001). Parametric modelling of growth curve data: An overview. *Test*, 10(1), 1-73.

Links: Códigos, datos y recursos disponible previa autorización en: <https://gitlab.com/os.rey/pino-taeda-bella-vista.git>



DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE *Pinus taeda* EN BELLA VISTA (CORRIENTES, ARGENTINA). TIPO Y COMPORTAMIENTO TEMPORAL

Cesar G. TORRES¹, Oscar W. REY¹, Cecilia LEZCANO¹

RESUMEN

En el presente trabajo se explora la distribución del diámetro de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes, AR). Los datos evaluados corresponden al diámetro normal (Dn), medido en 6 edades entre los 3 y 10,2 años en un rodal experimental de la especie. Se empleó tanto el enfoque de discretización como de estimación de funciones de distribución de probabilidades (fdp). Para el primero se empleó la regla de Sturges y en el segundo la estimación por máxima verosimilitud de las fdp Gamma, Normal y Weibull (2 y 3 parámetros). Complementariamente se evaluó explícitamente la distribución Normal del Dn con la prueba de Shapiro y mediante gráficos cuantil-cuantil. Se determinó que fue adecuada la verosimilitud de la función de distribución Normal en la descripción de la distribución del Dn.

Palabras claves: *función de distribución, verosimilitud, pino*

1. INTRODUCCIÓN

Conocer la distribución del diámetro normal (Dn) en plantaciones operativas es de importancia relativa para los gestores forestales. Un enfoque común en la descripción de las mismas es emplear el agrupamiento por clases de tamaño, cuya fortaleza reside en su pragmatismo y baja complejidad. En contrapartida, la construcción de clases diamétricas supone no tener en cuenta la naturaleza continua de la variable en estudio, ya que justamente la estrategia consiste en la discretización de la misma.

La especificación de una función de distribución de probabilidad (fdp) permite describir la distribución de una variable específica. Ello refleja su importancia, a la vez que la misma determina los métodos de estimación e inferencia, y posibilita reproducir fácilmente el proceso estocástico (simulación). Entre las fdp más empleadas se pueden enunciar la Gamma, Weibull (2 y 3 parámetros) y Normal (Robinson y Hamann, 2010; Hirigoyen y Rachid, 2014).

Hirigoyen y Rachid (2014), Quiñonez Barraza et al. (2015) y Uranga Valencia et al., (2018) se citan como ejemplos de trabajos en los que se determina que la distribución del Dn no corresponde a la Normal. En base a estos antecedentes y al contexto expuesto en los apartados precedentes, en el presente trabajo se propone evaluar la distribución del Dn en plantaciones de *Pinus taeda* realizadas en suelos arenosos de Bella Vista (Corrientes, Argentina).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon datos de inventario de un ensayo de fertilización de *P. taeda* instalado en la EEA Bella Vista (Corrientes, AR) en el mes de octubre de 1995. El material de *P. taeda* correspondió a semillas de origen Marion, se empleó una densidad de 833 árboles.ha⁻¹. El ensayo se raleó selectivamente a los 4 y 5,5 años, con densidades resultantes de 580 y 415 árboles.ha⁻¹. Se analizaron los Dn de los inventarios realizados a las edades de 3; 5,4; 6,2; 7,3; 9,2 y 10,2 años. Rey et al. (en prensa) establecieron que el efecto del factor fertilización no resulta de significancia, por tanto, se evaluó la distribución conjunta de los datos en cada edad.

Se calculó el logaritmo de la verosimilitud conjunta como

¹ EEA INTA Bella Vista (rey.oscar@inta.gob.ar)



$$l(\hat{\theta}_t) = \log \prod_i p(x_i, \hat{\theta}_t)$$

donde $\hat{\theta}_t$ denota el estimador del vector de parámetros θ_t que maximiza l a la edad t y describe completamente la función de densidad p . Las expresiones evaluadas de p fueron Normal, Gamma, Weibull de dos y tres parámetros (Robinson y Hamann, 2010). Complementariamente se evaluó la hipótesis de distribución normal del Dn mediante la prueba de Shapiro en conjunto con gráficos cuantil a cuantil (Venables y Ripley, 2002). Finalmente se elaboraron gráficos de distribución en clases de diámetro, para lo cual se determinó el número de clases conforme a la regla de Sturges (clases = $1 + \log_2(N)$, con N como el número total de observaciones) (Scott, 2009).

3. RESULTADOS

El Cuadro 1 presenta los valores del logaritmo de la verosimilitud (a los datos) de las fdp Normal, Gamma y Weibull (de dos y tres parámetros). En todas las edades, ninguna de las fdp explicó la distribución del Dn de forma consistentemente superior a la función Normal. En tanto, la probabilidad de sostener el supuesto de distribución normal, conforme a la prueba de Shapiro (Cuadro 1), indica que las evidencias fueron suficientes solo a los 7,3 y a los 10,2 años. Es preciso observar que a los 5,4; 6,2 y 9,2 años la hipótesis de normalidad se rechazó marginalmente; mientras que las figuras cuantil a cuantil, Gráfico 1, denotan que los datos se alejaron de la normal solo a los 3 años y que fue posible asumir normalidad en las restantes edades.

Cuadro 1. Logaritmo de la verosimilitud de funciones de distribución de probabilidad al Dn de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes) y prueba de Shapiro.

Edad	Normal	Gamma	Weibull (2p)	Weibull (3p)	p
3,0	-1550,85	-1599,43	-1539,83	-1538,99	< 0,00
5,4	-1131,35	-1136,92	-1141,68	-1131,91	0,02
6,2	-783,56	-787,64	-791,05	-804,49	0,02
7,3	-827,61	-828,39	-841,89	-826,23	0,24
9,2	-770,72	-769,15	-791,49	-767,52	0,04
10,2	-790,78	-788,65	-814,14	-788,69	0,06

Nota: Mayor valor de verosimilitud indica mejor aproximación, 2p = dos parámetros, 3p = tres parámetros.

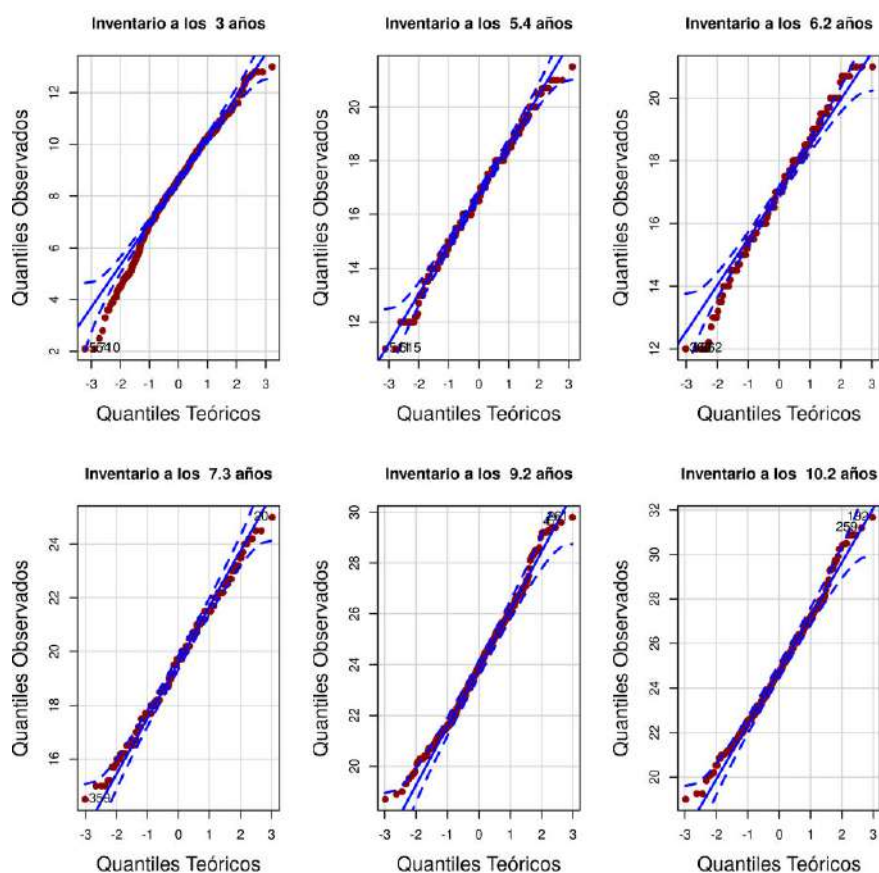


Gráfico 1. Figura cuantil-cuantil del D_n en *Pinus taeda* a diferentes edades.

En el Cuadro 2 se presentan los estimadores de los 4 primeros momentos de la distribución del D_n bajo normalidad. Los valores de asimetría, Skewness, siempre fueron menores a $|0,5|$, por tanto no se observaron asimetrías de consideración. La asimetría de mayor magnitud se obtuvo a los 3 años, la misma fue negativa (mayor acumulación hacia izquierda), el efecto disminuyó con los años y se transforma en positiva. La Kurtosis se aproximó a 3, valor esperado, en todas las edades. Al tercer año, edad a la cual la asimetría izquierda acumula probabilidad en dicha cola, fue levemente superior a 3. Las edades de 7,3 y 9,2 años denotaron valores relativamente menores al deseado, lo que indica la concentración de probabilidades cerca de la media.

Cuadro 2. Momentos de la distribución del D_n , bajo normalidad, a diferentes edades de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes).

Edad (Años)	$\hat{\mu}$ (cm)	$\hat{\sigma}^2$ (cm ²)	Skewness (ad)	Kurtosis (ad)
3,0	8,51 (0,06)	3,15 (< 0,00)	-0,46	3,44
5,4	16,70 (0,08)	3,43 (< 0,00)	-0,15	2,97
6,2	16,97 (0,08)	2,97 (< 0,00)	-0,18	3,07
7,3	19,61 (0,09)	3,75 (< 0,00)	0,02	2,69
9,2	23,95 (0,12)	4,91 (0,01)	0,22	2,73
10,2	24,83 (0,13)	5,66 (0,01)	0,28	2,92

Nota: Error estándar entre paréntesis.

El Gráfico 2 presenta la distribución en clases diamétricas del número de árboles referido a hectárea (panel A) y la f_{dp} Normal estimada (panel B). Esta última se denota en contraste con la frecuencia relativa observada por clases, lo que permite apreciar que dicha f_{dp} describió adecuadamente la distribución observada. Por otra parte, en el Gráfico 2 se advierte lo expresado previamente respecto de la forma de la distribución del D_n , asimetría, concentración y peso de colas.

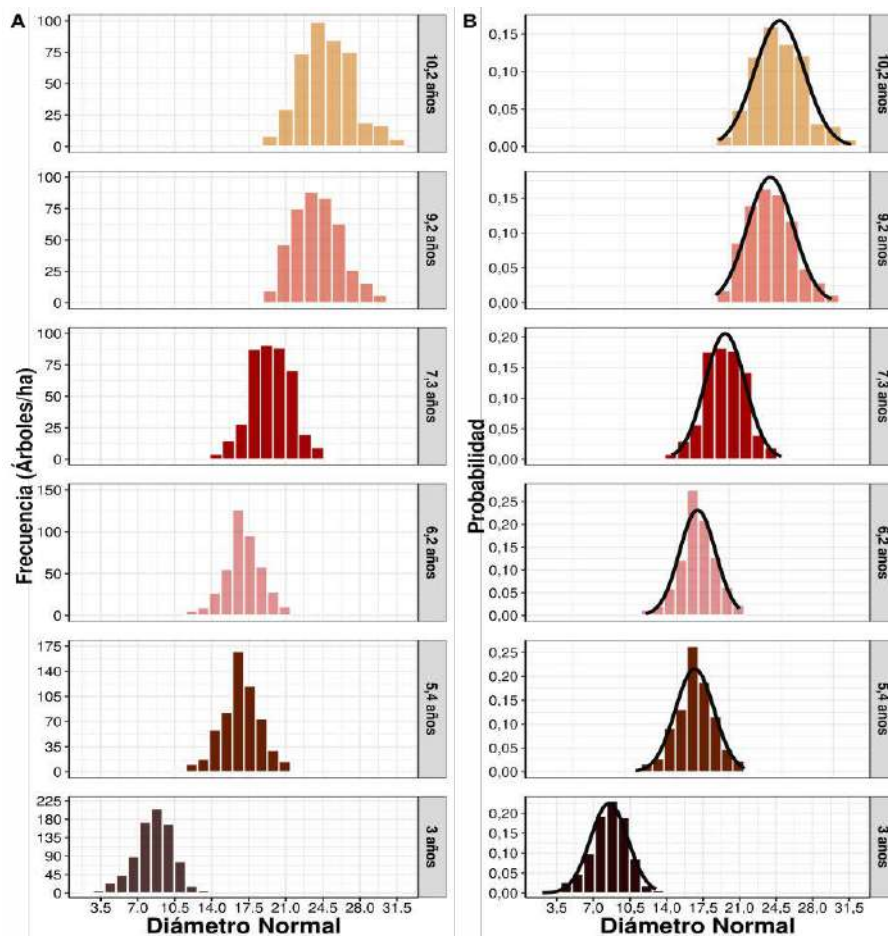


Gráfico 2. Evolución de la distribución del D_n de *Pinus taeda* en Bella Vista (Corrientes). **A)** Árboles en la hectárea por clases diamétricas. **B)** Función de distribución de probabilidad estimada (línea sólida) y frecuencia relativa por clases diamétricas (barras).

4. DISCUSIÓN

En Hirigoyen y Rachid (2014) se selecciona la curva SB de Johnson como fdp del D_n de *P. taeda*. Por su parte Quiñonez Barraza et al., (2015) y Uranga Valencia et al., (2018) seleccionan la distribución de Weibull. En estos trabajos no se evalúa la distribución Normal, tampoco efectos de localidad y edad que se mencionan para la fuente de datos. Por otra parte, al seleccionar una fdp diferente a la Normal se deben evaluar las propiedades de sus parámetros, estimadores y la distribución de sus predicciones, evaluación que no se realiza en estos trabajos. En contraste, en el presente trabajo se evidencia que ninguna de las fdp presenta una verosimilitud a los datos que sea consistentemente superior a la obtenida por la fdp Normal.

Quiñonez Barraza et al., (2015) y Uranga Valencia et al., (2018) establecen a priori el tipo de distribución; sin embargo, es deseable no saltarse el paso de selección de modelos. En Hirigoyen y Rachid (2014) y Quiñonez Barraza et al. (2015) se selecciona como método de estimación el de momentos en base a los resultados de ajuste y no por las propiedades de los estimadores. Sin embargo, Hirigoyen y Rachid (2014) coinciden con Casella y Berger (2002) al concluir que los estimadores de máxima verosimilitud son los de mínima variabilidad. En el presente trabajo las fdp se evalúan y seleccionan conforme al criterio de verosimilitud a los datos; en consecuencia, los estimadores de los momentos se obtienen maximizando la fdp seleccionada.

La exploración de la hipótesis de normalidad mediante el enfoque de prueba estadística en conjunto con la evaluación gráfica resulta adecuada. Esto se evidencia, porque la prueba de Shapiro es muy sensible a diferencias mínimas (Mohd Razali, 2011) y la misma debe ser empleada como una herramienta en la toma de decisiones. Asimismo, sostener la normalidad supone las ventajas, entre



otras, de poder describir completamente la distribución de los datos mediante dos parámetros, μ y σ^2 y emplear métodos clásicos de inferencia estadística. Las situaciones en las que no es posible sostener el supuesto de normalidad, como sucede en el Dn a los tres años, suponen realizar la inferencia o estimación con métodos que no requieran el mencionado supuesto o bien emplear transformaciones. Si es preciso emplear transformaciones, se recomienda la de Box-Cox (Núñez-Antón, 1997) a las logarítmicas o de radicandos. También se puede afirmar que para poder explorar posibles causales de la no normalidad de los datos se debe contar con información, que no se relevó en estas mediciones, que permitan dicha exploración, tal como estimación de errores de medición o sistematización del mismo.

Resulta conveniente el enfoque de describir la distribución de la variable Dn a partir de la estimación de su fdp, debido a su parsimonia y aplicabilidad. Dicho enfoque permite abordar los cambios en el tiempo de la distribución del Dn, bajo un único esquema de raleo selectivo, a partir de la descripción del comportamiento temporal del vector de parámetros de la fdp. Ello resulta conveniente a enfoques poco parsimoniosos como el empleado por Sanquetta et al. (1999) en el que se estiman 276 parámetros.

5. CONCLUSIÓN

Mediante el presente trabajo se determina que la fdp Normal describió de forma verosímil la distribución del Dn de *P. taeda* en Bella Vista (Corrientes, AR) entre los 5,4 y los 10,2 años. A los 3 años la distribución observada se aleja de la Normal y plantea la necesidad de estructuras de medición que permitan evaluar si ese comportamiento se debe a dificultades de medición con Dn menores a 6 cm. El estudio de fdp de variables aleatorias es de vital importancia en cualquier investigación y en particular la del Dn en investigaciones forestales. Por ello el mismo debe desarrollarse de forma que se pueda marginalizar los factores que la afectan, tales como sitio o edad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CASELLA, G. Y BERGER, R. L. 2002. Point Estimation in Statistical Inference (2° Ed). pp 311 – 367. Cengage Learning.
- HIRIGOYEN, A. Y RACHID, C. 2014. Selección de funciones de distribución de frecuencias diamétricas, para *Pinus taeda*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunnii* en Uruguay. *Bosque (Valdivia)*, 35(3), 369-376.
- MOHD RAZALI, N. Y YAP, B. 2011. Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *J. Stat. Model. Analytics*. 2.
- NÚÑEZ-ANTÓN, V. 1997. Longitudinal data analysis: non-stationary error structures and antedependent models. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 13(3-4), 279-287.
- QUIÑONEZ BARRAZA, G.; DE LOS SANTOS POSADAS, H. M.; CRUZ COBOS, F.; VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, A.; ÁNGELES PÉREZ, G. Y RAMÍREZ VALVERDE, G. 2015. Modelación dinámica de distribuciones diamétricas en masas mezcladas de *Pinus* en Durango, México. *Madera y bosques*, 21(2), 59-71.
- REY O. W., TORRES C. G. Y LEZCANO C. (en prensa). DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DENDRO Y DASOMÉTRICAS DE *Pinus taeda* EN BELLA VISTA (CORRIENTES, ARGENTINA).
- ROBINSON, A. P. Y HAMANN, J. D. 2010. *Forest analytics with R: an introduction*. Springer Science & Business Media.
- SANQUETTA, C. R., ARCE, J. E., GOMES, F. D. Y CRUZ, E. D. 1999. Evaluación y simulación precoces del crecimiento de rodales de *Pinus taeda* L. con matrices de transición. *Revista de Ciências Florestales*, 7(1), 31-42.
- SCOTT, D. W. 2009. Sturges' rule. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 1(3), 303-306.
- URANGA VALENCIA, L. P., DE LOS SANTOS POSADAS, H. M., QUIÑONEZ BARRAZA, G., VILLAREAL RAMÍREZ, V. H., Y QUIROZ GUZMAN, T. 2018. Distribución weibull para *Pinus patula* schiede ex schltl. Et. Cham. En plantaciones forestales comerciales. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 6(2), 45–53. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v6i2.152>.
- VENABLES, W. N. Y RIPLEY, B. D. 2002. *Univariate Statistics in Modern applied statistics with S*. (4ta edición). pp 107-133. Springer, New Yoork, NY.



RELACIONES HIPSOMÉTRICAS PARA *Pinus taeda* EN LAS PLANICIES ARENOSAS DE CORRIENTES, ARGENTINA

Federico J. CANIZA¹; Alejandro D. MAGGIO; Ramón M. CANTEROS

RESUMEN

Se compararon 14 modelos de altura-diámetro generalizados para las planicies arenosas de la región centro y sudoeste de Corrientes. Se utilizaron 40 076 pares de datos altura-diámetro e información de rodal de 744 parcelas de *Pinus taeda* en bases de datos de rodales con edades de 3 a 21 años. La base de datos se agrupó según edades, de 3 a 8 años y de 7 a 21 años, respectivamente. Los conjuntos de datos se dividieron en dos submuestras: una para ajuste del modelo y la otra para su validación. Se seleccionaron los modelos con mejores estadísticos y se ajustaron con la totalidad de la base de datos para obtener los modelos de altura-diámetro los dos rangos etáneos descriptos. Los modelos seleccionados fueron los parametrizados de las versiones de Harrison II para las edades de 3 a 8 años y Harrison III para edades de 7 a 21 años.

Palabras clave: *predicción de la altura, modelización forestal, manejo forestal, pino taeda.*

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Corrientes cuenta con 516 711 hectáreas forestadas según la actualización del inventario realizado por el Ministerio de la Producción de Corrientes y CFI (2018), de las cuales el 68,2 % representan al género *Pinus* y del cual se estima que *P. taeda* tiene una participación del 70-80 % (aproximadamente 280 000 hectáreas). Las lomas y planicies arenosas ubicadas en la zona centro y sudoeste de Corrientes abarcan aproximadamente 2 millones de hectáreas, que representan el 40 % de la superficie con aptitud forestal de la provincia. Estas formas de relieve se extienden como “cordones”, diferenciándose en arenas amarillas y lomas rojizas, ambas con baja fertilidad y bajo contenido de materia orgánica; las arenas amarillas son hidromórficas y se caracterizan por tener napas freáticas fluctuantes.

El potencial productivo del *P. taeda* en esta región es variable de acuerdo con el material genético utilizado, el suelo, la tecnología silvicultural aplicada en cada sitio, la posición en el paisaje y las condiciones climáticas de la región. Una de las variables de interés para mejorar el desarrollo tecnológico del *P. taeda* es la altura (h) de los árboles, necesaria para generar información precisa sobre las respuestas en crecimiento de los bosques a factores ambientales, caracterizar la estructura de rodales, estimar volumen, entre otras. Según Sanquetta et al. (2014), la medición de todas las alturas de los árboles encarece el inventario forestal y está sujeta a muchos errores. Por su parte, Costas y Rodríguez (2003) y Hernandez-Ramos et al. (2018) sostienen que medir el diámetro a la altura del pecho (d) resulta sencillo y menos costoso, por lo que para los administradores forestales es útil estudiar la relación h-d como una herramienta silvícola.

La altura y el diámetro a la altura del pecho están correlacionadas y pueden ser expresadas satisfactoriamente por medio de funciones matemáticas (Husch et al., 1982; Prodan et al., 1997); sin embargo, la relación h-d puede verse desnaturalizada de acuerdo con las condiciones de crecimiento de *P. taeda*. Eso puede advertirse en parcelas de inventarios continuos fijadas sistemáticamente, en algunos casos son establecidas próximas a cañadas o sectores de napas muy cercanas en las arenas hidromórficas, pudiendo alcanzar grados de esbeltez establecidos por Prodan et al. (1997) próximos a 5. En relación con el manejo de la densidad mediante intervenciones intermedias, Zhang et al. (1997) encontraron efectos del momento de aplicación y la magnitud del raleo, sobre el crecimiento en altura

¹ Investigador en Silvicultura y Manejo Forestal. EEA Bella Vista – Centro Regional Corrientes. E-mail: caniza.federico@inta.gob.ar. ² Becario INTA-CONICET. EEA Bella Vista. ³ Tecnico Ftal EEA Bella Vista.



de los árboles y está relacionado con la intensidad del raleo, la calidad del sitio, y vigor del árbol. Asimismo, concluyen su trabajo asegurando un efecto del raleo en las relaciones hipsométricas debido a los efectos de esta práctica sobre la altura media dominante y codominante, el diámetro máximo del rodal y el número de árboles por hectárea.

Los modelos h-d pueden ser lineales (Clutter et al., 1983) o no lineales (Huang et al., 1992) y pueden ser considerados de aplicación local o pueden tener un uso más generalizado (Tomé, 1988). Los modelos lineales no parametrizados dependen solo del diámetro a altura del pecho y pueden tener un buen desempeño en el rodal del cual los datos fueron obtenidos (Soares y Tomé, 2002). Por su parte, según Prodan et al. (1997), para rodales coetáneos extensos pueden presentar grandes variaciones locales en calidad de sitio y manejo de la densidad, por lo que la relación h-d ajustada para todo el rodal sería la resultante de muchas relaciones h-d, con una consiguiente variabilidad muy grande en torno de la línea de regresión. Para reducir el error de estimación pueden emplearse en tales casos los modelos parametrizados de altura.

Los modelos h-d parametrizados pueden ser utilizados a nivel regional y, generalmente, se nutren de parámetros como la edad, número de árboles por hectárea, diámetros (cuadrático, máximo y mínimo), calidad del sitio o altura dominante u otras variables de rodal (Prodan et al., 2003; Soares y Tomé, 2002; López Sánchez et al., 2003).

Fassola et al. (2007) ajustaron modelos de h-d parametrizadas para *P. elliottii* y *E. grandis* para las zonas agroecológicas de Misiones-NE de Corrientes y Concordia-Monte Caseros (Corrientes). En ese trabajo los autores dividieron su base de datos para ajustar modelos para edades de 5 a 8 años y otras de edades superiores de 7 a 20 años, debido a que hallaron que los patrones de crecimientos difieren entre ambos grupos etáneos. Por esto, según Prodan et al. (1997) la curva de alturas de rodal debe ser vista también como una curva de estado. Hasta la actualidad, esta relación h-d para el *P. taeda* no ha sido modelada para las planicies arenosas de Corrientes. El objetivo del presente trabajo fue ajustar modelos altura-diámetro parametrizados para plantaciones de *P. taeda* de las planicies arenosas de la región centro y sudoeste de la provincia de Corrientes.

2. MATERIALES Y METODOS

En base a los antecedentes referidos, para el presente trabajo la base de datos se agrupó en edades de 3 a 8 años, con un total de 17 466 observaciones y edades de 7 a 21 años, con 22 610 observaciones. Los datos observados se ordenaron según altura total (h), diámetro a 1,30 m de altura (d), altura dominante (H_{dom}), edad (t), densidad (N), diámetro cuadrático medio (D_g) y diámetro máximo (dmax). La base de datos constó de 356 parcelas para edades de 3 a 8 años y 388 parcelas para edades de 7 a 21 años, provenientes de inventarios continuos de empresas forestales de la región, de parcelas transitorias y de ensayos del INTA con esas empresas y en la EEA Bella Vista. Las parcelas están distribuidas en los departamentos de la zona centro y sudoeste de la provincia de Corrientes (San Miguel, Concepción, San Roque, Saladas, Bella Vista, Lavalle, Goya y Esquina).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de la base de datos de *P. taeda* agrupados según grupo etáneos

Variable	Edades de 3 a 8 años na= 17 466 – np= 356				Edades de 7 a 21,4 años na= 22 610 – np= 388			
	Mínimo	Media	Máximo	s	Mínimo	Media	Máximo	s
<i>t</i>	3,0	5,9	8,0	0,9	7,0	12,4	21,4	2,8
<i>N</i>	238	580	1 000	110	162	590	1 150	209
<i>G</i>	5,0	13,2	20,0	3,8	2,9	26,1	50,3	9,5
<i>D_g</i>	8,1	18,9	24,1	2,7	14,7	24,9	38,4	2,8
<i>H_{dom}</i>	4,5	10,6	14,9	1,7	8,4	17,2	24,9	3,0
<i>IS</i>	13,8	19,8	24,2	1,7	13,6	19,8	24,5	1,5
<i>d</i>	3,6	18,8	34,7	3,8	5,3	24,6	47,4	5,0
<i>h</i>	3,0	10,1	16,7	1,84	4,6	16,4	26,3	3,2
<i>Dmax</i>	10,5	24,4	34,7	3,9	20,7	32,7	47,4	4,5

na: número de observaciones h-d; np: número de parcelas; s: desvío estándar; t: edad (años); N: densidad actual (individuos por hectárea); G: área basal ($m^2 ha^{-1}$); D_g : diámetro cuadrático medio (cm); H_{dom} : altura dominante (m) (calculada como la altura media de los 100 árboles por hectárea de mayor diámetro); IS: Índice de sitio; d: diámetro a 1,3 m de altura (cm); h: altura total (m); dmax: diámetro a 1,3 m de altura máximo de la parcela (cm).



Siguiendo la metodología propuesta por Soares y Tomé (2002) y Fernandez-Tschieder et al. (2012) para Misiones, los modelos altura-diámetro fueron ajustados con cada una de las submuestras (etapa de ajuste). Seguidamente, los modelos ajustados fueron validados con la otra submuestra. Se ajustaron los principales modelos parametrizados citados en la bibliografía forestal (Cuadro 2) y se utilizaron técnicas de regresión lineal y no lineal mediante el algoritmo Gauss-Newton, utilizando el software R.

Cuadro 2. Modelos generalizados de altura-diámetro (h-d) ajustados para *P. taeda*.

Modelo	Nombre	Modelo
1	Curtis	$Ln(h)=b_0+ b_1 (1/d)+ b_2 (1/t)+ b_3 (1/d.t)+ (\epsilon)$
2	Embrapa	$h=b_0+ b_1 (d)+ b_2 (d^2)+ b_3 (d/H_{dom})+ (\epsilon)$
3	Scolforo 93	$Ln(h)=b_0+ b_1 H_{dom}+ b_2 ln(Dg/d)+ b_3 (1/d.t)+b_4 (1/d)+ (\epsilon)$
4	Scolforo 93 II	$Ln(h)=b_0+ b_1 H_{dom}+ b_2 (1/d)+ b_3 ln(N/d.t)+ b_4 (1/d.t)+ (\epsilon)$
5	Lenhart 86	$Ln(h)=b_0+ b_1 ln(H_{dom})+ b_2 (1/t)+b_3 ln(N.d)+ b_4 (1/d.t)+ (\epsilon)$
6	Bennet & Clutter	$Ln(h)=b_0+ b_1 IS^2+ b_2 (N/1000)+ b_3 (1/t)+ b_4 (1/d)+ (\epsilon)$
7	Burkhardt & Strub	$Ln(h)=b_0+ b_1 ln(H_{dom})+ b_2 (1/t)+ b_3 ln(N/d)+ b_4 (1/d.t)+ (\epsilon)$
8	Curtis II	$h=b_0 * Exp(b_1 (1/d)+b_2 (1/t)+b_3 (1/d.t)+ (\epsilon)$
9	Michailoff	$h=H_{dom} * exp(b_0+ b_1 t+ b_2 H_{dom}+ b_3 Dg)*(1/d-1/dmax)+ (\epsilon)$
10	Michailoff II	$h=H_{dom} * exp(b_0+ b_1 t+ b_2 N/1000+ b_3 H_{dom})*(1/d-1/dmax)+ (\epsilon)$
11	Harrison	$h=H_{dom} *(1+(b_0+ b_1 N/1000+ b_2 dmax)*exp(b_3 H_{dom}))* (1-exp(b_4 d/H_{dom}))+ (\epsilon)$
12	Harrison II	$h=H_{dom} *(1+(b_0+ b_1 t+ b_2 N/1000+ b_3 dmax)*exp(b_4 H_{dom}))* (1-exp(b_5 d/H_{dom}))+ (\epsilon)$
13	Harrison III	$h-1,3=H_{dom} *(1+(b_0+ b_1 H_{dom}+ b_2 Dg)*exp(b_3 H_{dom}))* (1-exp(b_4 (d/dmax)))+ (\epsilon)$
14	Harrison IV	$h-1,3=H_{dom} *(1+(b_0+ b_1 t+ b_2 H_{dom}+ b_3 Dg)*exp(b_4 H_{dom}))* (1-exp(b_5 (d/H_{dom}))+ (\epsilon)$

h: altura total individual (m); H_{dom} : altura dominante (m) (altura media de los 100 árboles por hectárea de mayor diámetro); t: edad (años); N: densidad actual (árboles por hectárea); Dg: diámetro cuadrático medio (cm); d: diámetro individual a 1,3 m de altura (cm); dmax: diámetro máximo de la parcela (cm); $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$: parámetros de los modelos.

El ajuste se evaluó a partir del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el estadístico AIC, el error estándar de estimación (S_{xy}) y el coeficiente de variación de los residuos ($S_{xy} \%$); un modelo será mejor que otro si presenta mayor R^2_{adj} y menor AIC, S_{xy} o $S_{xy} \%$ (Myers, 1986). Los supuestos de normalidad y homogeneidad se evaluaron mediante un gráfico cuantil-cuantil (Q-Qplot) y un gráfico de residuos *versus* valores predichos. En la validación de los modelos la capacidad de predicción se evaluó con el sesgo promedio (S), la diferencia absoluta media (DAM) y la eficiencia del modelo (EF), que es un índice de desempeño en una escala relativa, donde 1 indica un ajuste perfecto, 0 revela que el modelo no es mejor que un promedio simple y los valores negativos indican un modelo deficiente (Vanclay 1994 y Soares et al., 1995).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos que incorporan otras variables independientes además del diámetro a la altura del pecho y la edad presentaron aceptables desempeños, se destacaron entre los modelos que demandan escaso a mediano esfuerzo de muestreo, los modelos 5 y 6 que utilizan como variables independientes el diámetro a la altura del pecho, la altura dominante o el índice de sitio, la edad y la densidad. Estos presentaron en el ajuste y validación comportamientos levemente inferiores a otros modelos con mayor cantidad de parámetros y alto nivel de registros durante el muestreo que introducen, además del diámetro a la altura del pecho, el diámetro cuadrático, la altura dominante, el diámetro máximo y la edad. Se destacaron para ambas bases de datos, los modelos propuestos por Soares y Tomé (2002) como el modelo 9 de Michailoff y las variantes de Harris: modelo 12 para edades entre 3 y 8 años y los modelos 13 y 14 para la base de datos entre 7 y 21 años. En el Cuadro 3 se presentan los estadísticos de ajuste y validación para los modelos destacados.

Se seleccionó el modelo 12 para el conjunto de datos de 3 a 8 años. El mismo modelo fue seleccionado por Fernandez-Tschieder et al. (2012) para *P. elliottii* para la zona de Misiones; en tanto, se seleccionó el modelo 13 para las edades de 7 a 21 años. Se trabajó con la totalidad de los registros en cada uno de ellos resultando ajustes y capacidad de predicción satisfactorios. En los modelos seleccionados no se visualizaron desvíos significativos, cumpliéndose la homocedasticidad y la normalidad. En el Cuadro

² $IS = H_{dom} * ((1-exp(-0,0788*Ei))^{1,0111}/(1-exp(-0,0788*E))^{1,0111})$

Dónde: IS: Índice de Sitio; Ei: Edad Índice o Edad base de 15 años y E: edad actual del rodal.



4 se presentan los estadísticos de ajuste, predicción y los parámetros de los modelos seleccionados.

Cuadro 3. Estadísticos para los modelos destacados h-d evaluados para 2 grupos etáneos.

Modelo	Edades inferiores (3-8 años)				Edades superiores (7-21 años)			
	R ² _{adj}	AIC	S _{xy} %	S / DAM	R ² _{adj}	AIC	S _{xy} %	S / DAM
5	0,83	-36 142	8,2	0,04/0,8	0,87	-54 584	6,6	0,04/0,8
6	0,83	-36 642	8,3	0,56/1,3	0,87	-55 911	6,6	0,04/0,8
9					0,88	68 059	6,6	0,14/0,8
12	0,85	41 886	8,0	0,05/0,6				
13					0,88	67 440	6,5	-0,003/0,8
14					0,87	68 903	6,7	-0,67/0,8

Cuadro 4. Estadísticos de ajustes y parámetros estimados de los modelos 12 para edades de 3 a 8 años (n=17 466) y del modelo 13 para edades de 7 a 21 años (n=22 610).

Modelo	R ² _{adj}	S _{xy}	S/DAM	EF
12	0,86	0,8	0,05/0,6	0,87
13	0,91	1,1	-0,003/0,5	0,90

Modelo	Parámetros					
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
12	-0,5863	0,1338	0,0494	-0,0021	-0,0714	-0,8946
13	-0,1685	0,0245	-0,0103	-0,0157	-1,5471	

En la Figura 1 se presentan los residuos *versus* los valores estimados y Q-Qplot para los modelos 12 y 13 seleccionados para las edades de 3 a 8 y de 7 a 21 años, respectivamente. La base de dato cuenta con una variada procedencia genética, predominando las procedencias Marion HSC BdP (39,9 %), Futululu HSC BdP (23,0 %), Livingston HSC BdP (15,6 %), Marion APSA (13,1 %), APS Saint John Delicia APSA (8,4 %). Dada la variabilidad genética presente en la base de datos utilizada en este trabajo se puede esperar que las funciones altura-diámetro responderán satisfactoriamente a los principales materiales genéticos plantados en las regiones centro y sudoeste de la provincia de Corrientes. Asimismo, será necesaria ampliar la investigación para evaluar las respuestas de estos materiales genéticos a la calidad de sitio, el manejo de la densidad y la edad, lo que permitirá establecer una silvicultura sitio específica en las arenas de la región.

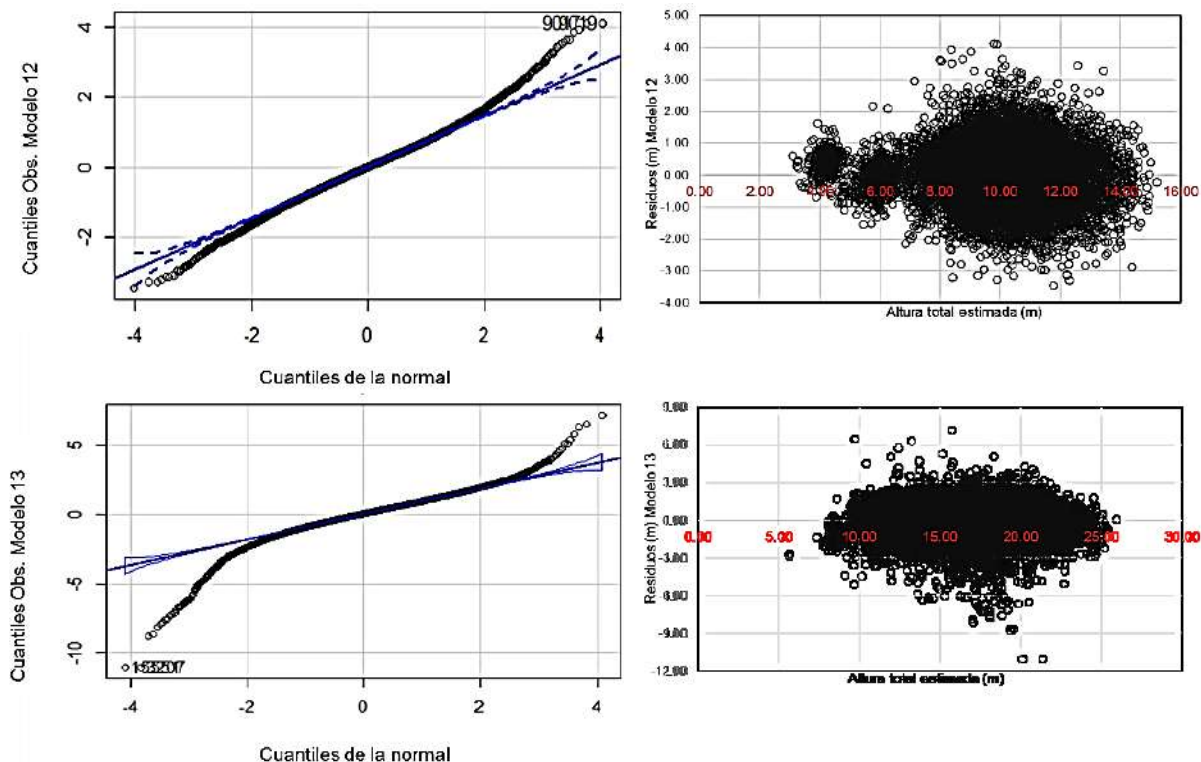


Figura 1. Gráfico de Q-Qplot y residuos vs. alturas estimadas con los modelos 12 (n=17 466) y del modelo 13 (n=22 610).



La función hipsométrica para edades de 3 a 8 años, según el modelo 12 se define de la siguiente manera:

$$h=H_{dom}*(1+(-0,586307+0,133891*t+0,049453*N/1000-0,002162*dmax)*exp(-0,071437*H_{dom})*(1-exp(-0,894648*d/H_{dom})))$$

De la misma manera, la función hipsométrica para edades de 7 a 21 años, según el modelo 13 se define de la siguiente manera:

$$h=1,3+H_{dom}*(1+(-0,1685+0,02453*H_{dom}-0,0103*Dg)*exp(-0,0157*H_{dom})*(1-exp(-1,5471*d/dmax)))$$

4. CONCLUSIONES

Se comprobó que la inclusión de variables de rodal permite mejorar la relación altura-diámetro para estimar la altura total individual. La versión Harrison III se seleccionó como la más conveniente para árboles provenientes de rodales entre 7 a 21 años (Modelo 13), en tanto, para edades de 3 a 8 años (Modelo 12), se seleccionó la versión de Harrison II.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas Las Misiones, Ea. Celina, EVASA, Pino Guazú, Las Taperitas SA, Enrique R. Zeni y Cia SA y a la UCAR "PIA 12052"-MAGyP.

6. BIBLIOGRAFÍA

- COSTAS R y RODRÍGUEZ G. 2002. Relaciones hipsométricas promedios para *Pinus elliottii* Engl. en Misiones y NE de Corrientes. En: Novenas Jornadas Técnicas Forestales. Eldorado, Misiones, Argentina.
- DIRECCIÓN DE RECURSOS FORESTALES; CFI e i-BC SRL. 2018. Actualización del Inventario Forestal de Bosques Implantados en la Provincia de Corrientes. Corrientes. Argentina.
- FASSOLA H. E; CRECHI E. H. y FRIEDL R. A. 1997. Relaciones Hipsométricas. INTA EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina.
- FASSOLA H. E; CRECHI E. H.; KELLER A. E.; BARTH S y FERNANDEZ T. E. 2007. Funciones y Algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado" PAN 571. INTA EEA Montecarlo, Misiones. Argentina.
- HERNANDEZ R. J; GARCÍA M J; GARCÍA C X.; GARCIA E G.; HERNÁNDEZ R A; MUÑOZ F J Y MARTÍNEZ S M. 2018. Ecuaciones generalizadas altura-diámetro para bosques de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México.
- LÓPEZ-SÁNCHEZ C. A; DORADO F. C; ALBORECA A. R; SOALLEIRO; R. R. GONZÁLEZ; J. G. Á y RODRÍGUEZ; F. S. 2003. A height diameter model for *Pinus radiata* D. in Galicia (Northwest Spain). *Annals of Forest Science* 60.
- MYERS R. 1986. *Classical and Modern Regression with Applications*. Duxbury Press, Boston, MA. USA.
- PRODAN M; PETERS V; COX F y REAL V. 1997. *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). San José. Costa Rica.
- SANQUETTA C. R; DALLA C. A. P; RODRIGUES A L e WATZLAWICK L F. 2014. *Inventario Florestais: Planejamento e Execução*. 3ra Edição-Revista e Ampliada. Curitiba, Brasil.
- SOARES P y TOMÉ M. 2002. Height-diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management* 166.
- SOARES P; TOMÉ M; SKOVSGAARD J. P y VANCLAY J. K. 1995. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. *Forest Ecology and Management* 71.
- VANCLAY J. K. 1994. *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. CAB International, Wallingford, UK.
- ZHANG S; BURKHART H. E. y AMATEIS R. L. 1997. The influence of thinning on tree height and diameter relationship in loblolly pine plantations. *Southern Journal of Applied Forestry*.



EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON FOSFATO SOBRE LOS PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y FISIOLÓGÍA DE *Pinus taeda* L.

Ingrid Alegransi MILLANI¹, Matheus Severo de Souza KULMANN¹, Janini Verônica SCHERER¹, Davy BRAZ¹, Anderson de Costa PAINI², Reinaldo Hoinacki da COSTA², Mauro Valdir SCHUMACHER¹

RESUMEN

El fósforo (P) es un nutriente esencial para el crecimiento y la reproducción de las plantas y es un componente integral de compuestos importantes en las células vegetales. Este estudio tiene como objetivo evaluar si los niveles de P en el suelo influyen en el crecimiento y fisiología de *Pinus taeda* L. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con tres niveles de P: bajo P (sin adición de P), medio P (30 mg P kg⁻¹) y P alto (60 mg P kg⁻¹). Se evaluaron la altura, el diámetro del tallo, la tasa de fotosíntesis neta, la eficiencia en el uso del agua, la eficiencia cuántica máxima y la fluorescencia inicial. Nuestros resultados muestran que el cultivo de *P. taeda* responde positivamente al aumento de los niveles de P en el suelo, lo que condicionó la mayor posibilidad de absorción de P por las raíces, aumentando la concentración dentro de las plantas, lo que contribuyó al aumento de P dirigido a la formación de energía. El nivel medio de P (30 mg kg⁻¹) fue más eficiente.

Palabras clave: *nutrición forestal, fósforo, pinheiro, silvicultura*

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales de *Pinus* en Brasil se establecieron a través del programa de incentivos fiscales durante las décadas de 1970 y 1980, donde proporcionaron un aumento abrupto en la oferta de madera. Hoy, las plantaciones de pino ocupan 1,6 millones de hectáreas y se concentran en Paraná (42 %) y Santa Catarina (34 %), seguidas de Rio Grande do Sul (12 %) y São Paulo (8 %). Durante los últimos siete años, la superficie plantada con este género se ha mantenido prácticamente estable, cada vez más concentrada dentro de estos cuatro estados (IBÁ, 2019). Uno de los principales factores que interfiere con el crecimiento de los *Pinus* son las condiciones del suelo donde se plantan, generalmente son suelos de baja fertilidad, lo que de alguna manera afecta la productividad. Para evitar esto, se necesitan correcciones con la aplicación de fertilizantes, las evaluaciones nutricionales son importantes para hacer recomendaciones de fertilizantes, las evaluaciones nutricionales son importantes para hacer recomendaciones de fertilizantes y el conocimiento de las deficiencias nutricionales permite indicar los nutrientes que se deben aplicar (GAZOLA, 2017).

El fósforo (P) es un nutriente esencial para el crecimiento y para la reproducción de las plantas, constituyendo un componente integral de los compuestos de las células vegetales; uno de sus síntomas de deficiencia de P incluye un crecimiento reducido en las plantas jóvenes. Cuando no se realiza la fertilización con fósforo, puede provocar alteraciones en el sistema radicular de la planta reduciendo la absorción de agua y nutrientes (VOGEL, 2015).

La reducción de la concentración de nutrientes en las acículas puede comprometer importantes mecanismos fisiológicos, como la actividad fotosintética, potenciando las pérdidas de energía por fluorescencia por parte de la planta.

En este sentido, los estudios que involucren el aumento de los niveles de P son fundamentales, sirviendo como insumo en la comprensión de la relación suelo-planta, permitiendo un mayor dominio de las prácticas de fertilización con fósforo. En sitios de buena calidad, esta fertilización posiblemente

¹ Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.
ingridalegrasi@hotmail.com

² Juliana Florestal Ltda. julianaflorestal@frameport.com.br



permitirá un desarrollo adecuado a lo largo del ciclo (MAGRI, 2018). Este estudio tiene como objetivo evaluar si el aumento de los niveles de P en el suelo influye en el crecimiento y fisiología de *Pinus taeda*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en invernadero (CV) en alianza con la Universidad Federal de Santa María (UFSM), en el estado de Rio Grande do Sul (RS).

En el estudio se utilizó un clon de *Pinus taeda*. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, donde se desarrolló con tres niveles de P: bajo, medio y alto. El suelo utilizado fue un Oxisol (SOIL SURVEY STAFF, 2014) de un área sembrada con *Pinus taeda* de primera rotación, ubicada en la ciudad de Caçador (SC), sur de Brasil (26 ° 44' 48,72" S y 51 ° 04' 18,52" W, altitud 1030 m). El sitio es parte de la red experimental del Programa Cooperativo de Investigación de Pinus en Brasil (PPPIB; <http://www.ipef.br/pppib>), coordinado por el Instituto de Estudios e Investigaciones Forestales (IPEF).

Los niveles de P considerados fueron: (i) bajo P (sin adición de P); (ii) medio P (30 mg P kg⁻¹); y (iii) P alto (60 mg P kg⁻¹), utilizando superfosfato simple (15 % P₂O₅) que se incorporó mediante homogeneización del suelo. Las plantas se cultivaron en macetas con una capacidad de 3 litros, con 2,6 litros de suelo, conducidas en CV con una temperatura del aire de 25 ± 3 °C y una humedad relativa del 70 %. Cada dos días, se pesó cada maceta y se añadió agua destilada según fuera necesario para mantener la capacidad de campo al 60%. A los 100 y 200 días después del trasplante (DAT) de las plántulas, se aplicó la solución nutritiva de Hoagland, que contenía (mg L⁻¹): 105; 117K; 80 Ca; 24,3 Mg; 35S; 2,5 Fe; 0,01 Cu; 0,075 Zn; 0,25 Mn; 0,25 B y 0,005 Mo, con el fin de asegurar la adecuada disponibilidad de nutrientes, excepto P. Se midieron a la altura (cm) de las plantas y el diámetro del tallo (mm) utilizando una regla graduada (Digimess, 600.004, Brasil) y calibre analógico universal (MTX, 316119, Brasil) para medidas, a 300 DAT.

El intercambio de gases de las acículas con el medio ambiente se determinó a 300 DAT, utilizando un medidor analizador de gases infrarrojos (IRGA) portátil (LI-6400 XT, LI-COR, EE. UU.), utilizando una radiación fotosintética de 1500 μmol m⁻² s⁻¹ concentración de CO₂ de 400 μmol mol⁻¹. Las evaluaciones de los parámetros fotosintéticos se realizaron en cinco réplicas de cada tratamiento, en tres acículas completamente expandidas en cada planta, en los días soleados, durante la mañana, entre las 8:00 y las 10:00 am. A través de esta evaluación se pudo determinar: tasa de asimilación neta de CO₂ (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) y eficiencia de uso del agua (USA mol CO₂ mol H₂O⁻¹), obtenida por la relación entre la cantidad de CO₂ fijado por la fotosíntesis y la cantidad de agua transpirada.

El análisis de emisión de fluorescencia de clorofila a se determinó a 300 DAT, usando un fluorómetro portátil de luz modulada (Fluorómetro de clorofila Junior-Pam Walz Mess-und-Regeltechnik, Alemania). El muestreo se realizó en cinco réplicas de cada tratamiento, en tres acículas completamente expandidas en cada planta, en los días soleados, durante la mañana, entre las 8:00 y las 9:30 am. Antes de las mediciones, las acículas fueron preadaptadas a la oscuridad durante 30 minutos para medir la fluorescencia inicial (F_o). Posteriormente, las muestras se sometieron a un pulso de luz saturante (10.000 μmol m⁻² s⁻¹) durante 0,6 s, determinando así la máxima fluorescencia (F_m). El rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (PSII) = (F_v / F_m), donde F_v es la fluorescencia variable (F_v = F_m-F_o) y F_m es la fluorescencia máxima.

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA). La normalidad de los residuos se probó mediante la prueba de Shapiro-Wilk para verificar si sería necesaria alguna transformación. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey (p <0,001). El ANOVA se realizará utilizando el paquete "ExpDes.pt" del software R (FERREIRA et al., 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mayores valores de altura y diámetro a la altura del cuello se observaron en plantas *Pinus taeda* sometidas a mayores niveles de P (Gráfico 1a, b). Nuestros resultados muestran que el cultivo de *P. taeda* responde positivamente al aumento de los niveles de P en el suelo, lo que condicionó la mayor posibilidad



de absorción de P por las raíces, aumentando la concentración dentro de las plantas, lo que contribuyó a que el P dirigiera la formación de energía, lo que resulta en el aumento de la altura y el diámetro del cuello.

Es de destacar que la altura y diámetro del cuello de *P. taeda* no difirió entre los niveles altos y medios en el suelo. Estos resultados muestran que los niveles altos de P en el suelo no influyen directamente en el desarrollo de *P. taeda*, ya que el P en el suelo posiblemente se adsorbe a las partículas del suelo, disminuyendo su disponibilidad y absorción radicular (STAHL, 2018), esto puede ser directamente influenciado por la Ley de Incrementos Decrecientes descrita por el profesor alemán Eilhard Alfred Mitcherlich (1909) quien dice que: la productividad de una planta disminuye a medida que aumenta la cantidad suministrada de un determinado nutriente a través de fertilizantes. Las respuestas de las plantas son altas para las dosis iniciales, pero el incremento en la producción es cada vez menor a medida que aumenta la dosis del nutriente suministrado. Y a partir de cierto punto, la producción comienza a reducirse incluso con dosis crecientes, lo que resulta en incrementos de producción decrecientes.

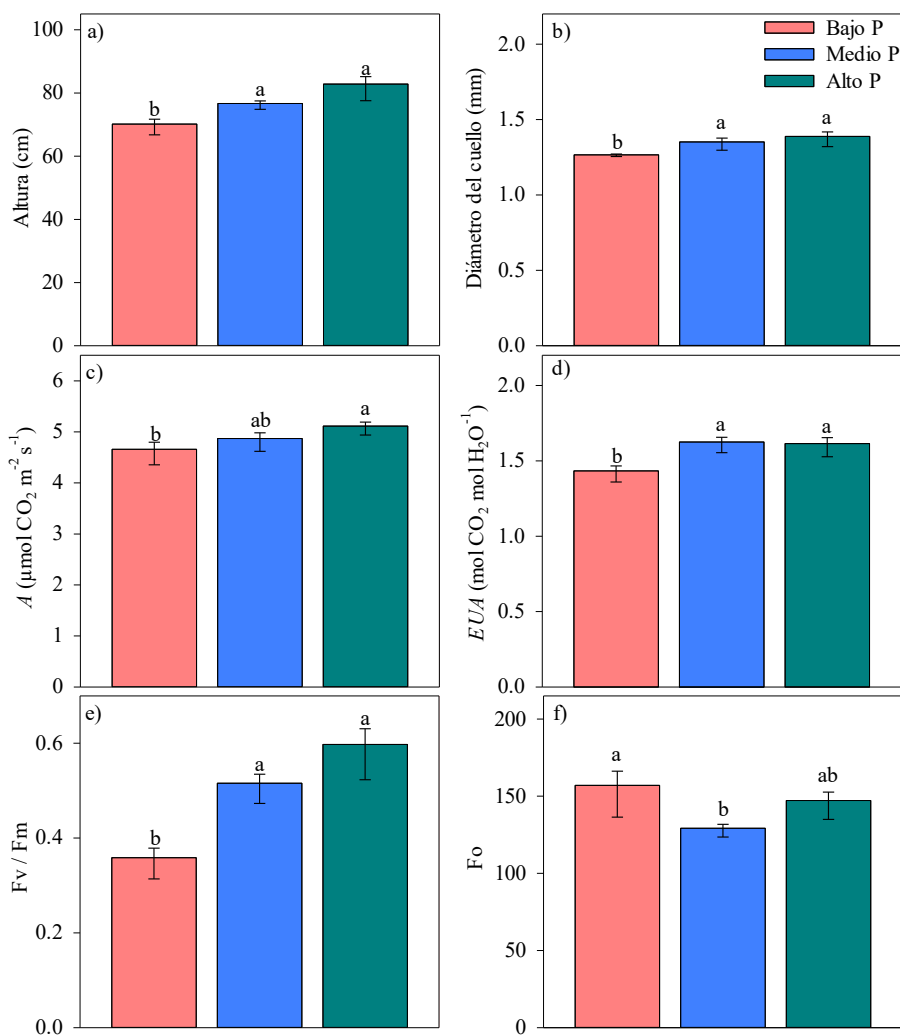


Gráfico 1. Altura (a), diámetro del cuello (b), A – tasa de fotosíntesis líquida (c), EUA – eficiencia del uso del agua (d), Fv / Fm – eficiencia cuántica máxima (e) y Fo – fluorescencia inicial (f) de *Pinus taeda* sometida a fertilización fosfatada: Bajo P; Medio P; y Alto P. Las barras verticales indican un error estándar (n = 5). Letras diferentes representan significancia estadística entre tratamientos de adición de P por la prueba de Tukey (p < 0,001).

La tasa fotosintética neta (Gráfico 1c) muestra cuánta energía está presente en la planta a medida que cambia la temperatura, el aumento de CO₂ atmosférico aumenta el rendimiento cuántico producido fotosintéticamente, es decir, la fotosíntesis neta, la producción de biomasa y la producción final. Además, puede haber mayor producción y mayor eficiencia en el uso de insumos en plantas (DIAS, 2018).

Los mayores valores de eficiencia en el uso del agua se verificaron en *P. taeda* cultivada en niveles medios y altos de P (Gráfico 1d). Este indicador de eficiencia en el uso del agua (Gráfico 1e, d) muestra



cuánta agua absorbida por las plantas se puede convertir en materia seca. La eficiencia del uso del agua se caracteriza como la cantidad de evapotranspiración de agua por parte de una planta para producir una cierta cantidad de materia seca. Por lo tanto, las plantas más eficientes en el uso de agua producen más materia seca por gramo de agua transpirada (BAPTISTA et al., 2001). El fósforo está ligado a este indicador, porque incluso cuando no está disponible, las plantas dificultan la apertura y cierre de los estomas, ya que, mientras la planta absorbe CO₂ para la fotosíntesis, el agua se pierde al ambiente por evapotranspiración, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (PEREIRA-NETTO et al., 2002). Los cambios en las tasas de fotosíntesis y la disipación de calor provocarán cambios complementarios en la emisión de fluorescencia (Gráfico 1f). Por tanto, los cambios en la fluorescencia pueden mostrar la ausencia o presencia de alteraciones en el proceso fotosintético. Según Lima; Jarvis y Rhizopoulou (2003), existe una correlación directa entre la fotosíntesis neta y la conductancia estomática, y la tasa de fotosíntesis se reduce de manera lineal o curvilínea a medida que los estomas se cierran, estando directamente relacionada con los niveles de fertilización fosfatada.

4. CONCLUSIONES

El aumento de los niveles de P en el suelo, especialmente el nivel medio de P en este estudio (30 mg kg⁻¹) fue el más eficiente en la disponibilidad de P en el suelo, contribuyendo a la actividad fisiológica de *Pinus taeda* aumentando la tasa fotosintética neta, altura y diámetro, ya que no hubo diferencia significativa entre los valores de P alto y medio en varios parámetros estudiados.

5. LITERATURA CITADA

- BAPTISTA, J.M. et al. 2001. Programa nacional para o uso eficiente da água. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia. 212 p.
- DIAS, J.P.T. 2018. Ecofisiologia de culturas agrícolas. EdUEMG. Belo Horizonte. 169 p.
- FERREIRA, E.B. et al. 2021. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs Applied Mathematics. R package.
- GUARDA, V.A. 2014. Bases Ecofisiológicas da Assimilação de Carbono e Suas Implicações na Produção de Forragem. Embrapa Pesca e Aquicultura. Palma. 48 p.
- GAZOLA, R.N. 2017. Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produtividade, ciclagem de nutrientes e no balanço nutricional do eucalipto. 183 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. 2019. Relatório Anual. Brasil. 80 p.
- LIMA, W.P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. 2003. Stomatal Responses Of Eucalyptus Species To Elevated CO₂ Concentration And Drought Stress. Scientia Agricola 60(2): 231-238.
- MAGRI, E. 2018. Sintomas de deficiência em Pinus: um estudo de caso. XII Reunião Brasileira de Ciência do Solo. Xanxerê.
- MITSCHERLICH, EILHARD ALFRED. 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags. Landwirtschaftliche Jahrbücher, v. 38, p. 537–552.
- PEREIRA-NETTO, A. B. 2002. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.). Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, p. 17-42.
- STAHL, J. 2018. Estratégias silviculturais de manejo da adubação para povoamentos de *Pinus taeda* L. no planalto sul catarinense e na região de Telêmaco Borba, Paraná.
- SOIL SURVEY STAFF, 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12. ed. USDA-NRCS, Washington, DC, USA.
- VOGEL, H.L. M. SCHUMACHER, M.V., STORCK, L., WITSCHORECK, R. 2015. CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. RELACIONADO A DOSES DE N, P E K *Pinus taeda* L. INITIAL GROWTH RELATED TO N, P AND K FERTILIZERS. Revista Ciência Florestal. p. 199-206.



EFFECTO DE LA PLANTACIÓN SIMULTÁNEA Y LA FERTILIZACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO DE UN CLON DE *Pinus taeda* DE 11 AÑOS

Janini Verônica SCHERER¹, Ingrid Alegransi MILLANI¹, Matheus Severo de Souza KULMANN¹, Davy Salbego BRAZ¹, Anderson de Costa PAINI², Reinaldo Hoinacki da COSTA², Mauro Valdir SCHUMACHER¹

RESUMEN

La diferente disponibilidad de nutrientes en el suelo y la plantación escalonada pueden conducir a un desarrollo heterogéneo de las plantas, lo que puede reducir la productividad del rodal. Las técnicas silvícolas como la fertilización y la plantación simultánea pueden condicionar el suministro equitativo de recursos (luz, agua y nutrientes) disponibles para las plantas. El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la simultaneidad y la fertilización en el crecimiento de un clon de *Pinus taeda* de 11 años. El estudio se realizó en Telêmaco Borba, Estado de Paraná, Brasil en un área perteneciente a la empresa Klabin S.A. El factor simultaneidad se dividió en simultánea (U), donde la plantación se realizó en la misma fecha y diferido (D) donde la plantación se realizó de manera escalonada en diferentes momentos: 0, 150 y 300 días después de la primera plantación. El factor de fertilización se separó en dos niveles: con fertilización (F), donde la fertilización se realiza al momento de la plantación y después de nueve años; y sin fertilización (S). Se realizaron inventarios anuales midiendo diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (h), índice de homogeneidad (PV50) y volumen de árboles estimado. El clon de *P. taeda* produjo un volumen de 218,30 m³ ha⁻¹ en plantación simultánea, mientras que en plantación diferida el volumen fue de 209,00 m³ ha⁻¹. A su vez, presentaron un volumen de 188,50 m³ ha⁻¹ en las parcelas sin fertilizante y 238,80 m³ ha⁻¹ en las fertilizadas. Las parcelas U y F mostraron mayor homogeneidad, con PV50 de 36 % y 35 %, respectivamente. El tratamiento D tuvo un PV50 del 31 % y el S tuvo un 32 %. *P. taeda* mostró mayor homogeneidad en tratamientos simultáneo y con fertilizantes. La plantación con fertilizante tuvo el mayor volumen en relación a los demás tratamientos.

Palabras clave: *silvicultura, nutrición forestal, heterogeneidad, PV50.*

1. INTRODUCCIÓN

Pinus taeda, conocido popularmente como pino marítimo, es originario de Estados Unidos, de alto interés comercial por sus características de crecimiento, pudiendo alcanzar los 30 m de altura (BENTEC, 2020; SILVA, 2020). Entre las especies de *Pinus* más comúnmente cultivadas en Brasil, se destaca *Pinus taeda* L., que se cultiva principalmente en el sur de Brasil (SOUSA et al., 2007; VIVIAN et al, 2015). Esta especie se ha consolidado por sus múltiples usos de productos, como la producción de celulosa, papel, madera aserrada y láminas (SHIMIZU, 2008). Según IBÁ (2020), el área total de árboles plantados en Brasil en 2019 ascendió a 9,0 millones de hectáreas, de las cuales el 18 % se cultiva con *Pinus spp.*, totalizando 1,64 millones de hectáreas, caracterizándola como la segunda especie más plantada en el país, solo superada por el género *Eucalyptus*.

Aspinwall et al. (2011) afirma que una mayor homogeneidad de la población puede conducir a una mayor eficiencia en el uso de recursos y una mayor productividad. La relación de una mayor homogeneidad de la población, para el mismo clon, en un área amplia a lo largo del tiempo muestra fuertes signos de mejora en la calidad silvícola, tanto en términos de recomendaciones más ajustadas para considerar las diferencias específicas del sitio, como en la calidad de ejecución de operaciones

¹ Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria. Contacto: ninivscherer@gmail.com

² Juliana Florestal Ltda. julianaforestal@frameport.com.br



(HAKAMADA et al., 2015). En lugares de baja fertilidad, las especies de *Pinus* muestran una gran capacidad para manejar los recursos nutricionales, sin mostrar síntomas visibles de deficiencia. Estos, aunque positivos, terminaron generando expectativas que resultaron negativas hacia el manejo nutricional de estas especies. Otros factores, como la velocidad de crecimiento y la ausencia de síntomas de deficiencia, especialmente durante las primeras rotaciones, acaban de reforzar la idea de que *Pinus spp.* no necesitaría fertilización, o sería prescindible (REISSMANN Y WISNIEWSKI, 2000; VOGEL et al., 2005).

En un estudio realizado en el norte de Corrientes, Argentina, al aplicar dosis crecientes de N, P y K en la implantación de *Pinus taeda*, a los 34 meses de edad, los resultados mostraron diferencias significativas en DAP, altura total y volumen, relacionados a dosis de nitrógeno y fósforo, a pesar de no tener respuesta al potasio (FERNÁNDEZ et al., 2011). Los tratamientos donde se aplicó la mayor dosis de nitrógeno (100 g de urea por planta), en ausencia de fósforo y potasio, presentaron las menores tasas de crecimiento. Por lo tanto, son necesarios estudios que involucren fertilización y momento o secuencia de plantación en campo, para entender si interfieren en el desarrollo de *P. taeda*. Con esto en mente, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la simultaneidad de la plantación y la fertilización en la productividad de un clon *Pinus taeda* a los 11 años.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un área perteneciente a la empresa Klabin S.A., en el municipio de Telémaco Borba, en el estado de Paraná, Brasil (24° 17' 40" S, 50° 22' 24" W, altitud 820 m). Según la clasificación de Köppen, el clima de la ciudad es Cfb, subtropical húmedo sin estación seca y con un verano templado, con precipitaciones anuales de 1443 mm y una temperatura media anual del aire de 18,6 °C (ALVARES et al., 2013).

En el sitio se realizó el control de hormigas, la preparación del suelo mediante subsolado y la aplicación de herbicida. En febrero de 2007 la plantación se realizó con plantines clonales de *P. taeda* en un espaciamiento de 3 m x 2 m. El experimento evaluó dos factores: (i) factor de simultaneidad, el cual se dividió en simultáneo (U) y diferido (D); y (ii) el factor de fertilización se separó en con fertilización (F) y sin fertilización (S). Los tratamientos se conformaron de la siguiente manera: diferido sin fertilización (DS), diferido con fertilización (DF), simultáneo sin fertilización (US) y simultáneo con fertilización (UF). El experimento siguió un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y 4 tratamientos, totalizando 12 parcelas de 576 m² cada una.

La fertilización en la plantación consistió en 2,0 Mg ha⁻¹ de caliza, 400 kg ha⁻¹ de superfosfato, 80 kg ha⁻¹ de urea, 80 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y 80 kg ha⁻¹ de micronutrientes, y a los nueve años se fertilizó con 800 kg ha⁻¹ de NPK 17:06:24.

La plantación de las parcelas del tratamiento "simultáneo" (U) se realizó el mismo día de febrero de 2007. El tratamiento "diferido" (D) consistió en la inducción de la heterogeneidad (efecto de dominancia) a través de la plantación de los tres periodos consecutivos de manera sistemática dentro de la parcela, donde 1/3 de los plantines se plantaron en febrero de 2007 (0 días después del tratamiento simultáneo (U)), 1/3 en julio de 2007 (150 días después de la primera fecha de plantación) y el 1/3 restante en diciembre de 2007 (300 días después de la primera fecha de plantación).

Las variables dendrométricas medidas anualmente entre 2009 y 2019 son: diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles, y la altura total (h) de las tres primeras hileras y de los ocho árboles dominantes, con el DAP más alto en cada parcela. Los modelos de relación hipsométrica para la edad se aplicaron mediante las ecuaciones 1 y 2 para estimar la altura de otros árboles.

$$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) \quad (1)$$

$$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{DAP}\right) \quad (2)$$

Donde: Ln = logaritmo natural; h = altura total (m); DAP = diámetro a una altura de 1,30 m (cm); β_0 y β_1 = coeficientes.



Las ecuaciones de volumen, volumen comercial y factor de forma se obtuvieron modelando con datos obtenidos mediante una rigurosa cubicación de Smalian. Para el análisis de simultaneidad de la plantación se utilizó el índice PV50 (ecuación 3), que es el porcentaje de volumen acumulado del 50 % de los árboles más pequeños de la parcela, considerando árboles muertos y fallas de siembra (HAKAMADA et al., 2015).

$$PV50 = \frac{\sum V_{50ji}}{\sum V_{tji}} \quad (3)$$

Donde: PV50 = Porcentaje de volumen acumulado en el 50% de los árboles de la parcela (%); V_{50ji} = Volumen (m^3) en el 50 % de los árboles más pequeños, incluidas las fallas, de la parcela j a la edad i ; V_{tji} = Volumen total (m^3) de la parcela j a la edad i .

Los resultados se sometieron a análisis de varianza y prueba de diferencia mínima significativa (LSD) ($p < 0,05$) con el software R.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los 11 años, en plantación simultánea, el clon *P. taeda* obtuvo un PV50 de 36 % y en plantación escalonada un 31 % (Gráfico 1a). El factor de fertilización presentó un índice PV50 de 32 % sin fertilizante y 35 % con fertilizante. Según el índice PV50, la mayor homogeneidad en el crecimiento de los árboles se da cuanto mayor es el volumen acumulado en el 50 % de los árboles más pequeños de la parcela.

Así, las plantaciones U y F fueron los tratamientos que aseguraron mayor homogeneidad, con PV50 de 36 % y 35 %, respectivamente. La simultaneidad tiene una mayor productividad debido a una mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles, lo que muestra una mayor calidad de la silvicultura.

Hubo una reducción del 13,89 % en el índice PV50 de plantación simultánea a plantación diferida. Este resultado indica que retrasar la reposición de fallas, práctica habitual en la mayoría de las forestaciones, puede conducir a la heterogeneidad del rodal. La formación de rodales diferidos proporciona a las plantas dominantes una mayor disponibilidad de luz y agua, lo que reduce el acceso para los individuos dominados. Las plantas dominantes también son más eficientes en convertir estos recursos en asimilados fotosintéticos (HAKAMADA et al, 2015; BOYDEN et al., 2008; BINKLEY et al., 2006).

A los 11 años, el clon *P. taeda* produjo un volumen de 218,30 $m^3 ha^{-1}$ en plantación simultánea, y en la plantación diferida 209,00 $m^3 ha^{-1}$ (Gráfico 1b), lo que muestra el impacto negativo de la plantación realizada con diferencia de varios meses sobre el volumen de madera. Las plantas de los tratamientos con fertilización presentaron un volumen de 188,50 $m^3 ha^{-1}$ sin fertilizante y 238,80 $m^3 ha^{-1}$ con fertilización. Britto et al. (1986) encontraron resultados similares donde la fertilización mineral en *Pinus caribaea* var. *bahamensis* indujo una mayor producción volumétrica total de madera a nivel de DAP, que fue aproximadamente un 25 % superior a la obtenida de los árboles en el tratamiento sin fertilización. Moro et al. (2014), en un estudio con *Pinus taeda* en el Planalto Sul Catarinense, también mostró un aumento en el volumen de madera en respuesta a la fertilización con NPK en todas las edades evaluadas. Esto ocurre porque la disponibilidad de nutrientes proporciona mejores condiciones para el crecimiento del clon de *P. taeda* y, en consecuencia, un aumento de su volumen.

Estos resultados se pueden atribuir a la mayor oferta de nutrientes, como el fósforo, que contribuyó a una mayor producción de masa seca de brotes en especies forestales, ya que es el nutriente que más afecta el crecimiento radicular (BRASIL et al., 2016; FERNANDEZ et al., 2011). El nitrógeno también puede haber contribuido, ya que es un nutriente de gran importancia, que participa en procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración, la diferenciación celular y genética (BRASIL et al., 2016; MENGEL; KIRKBY, 1987), lo que lleva al desarrollo de la planta a un nivel más satisfactorio.

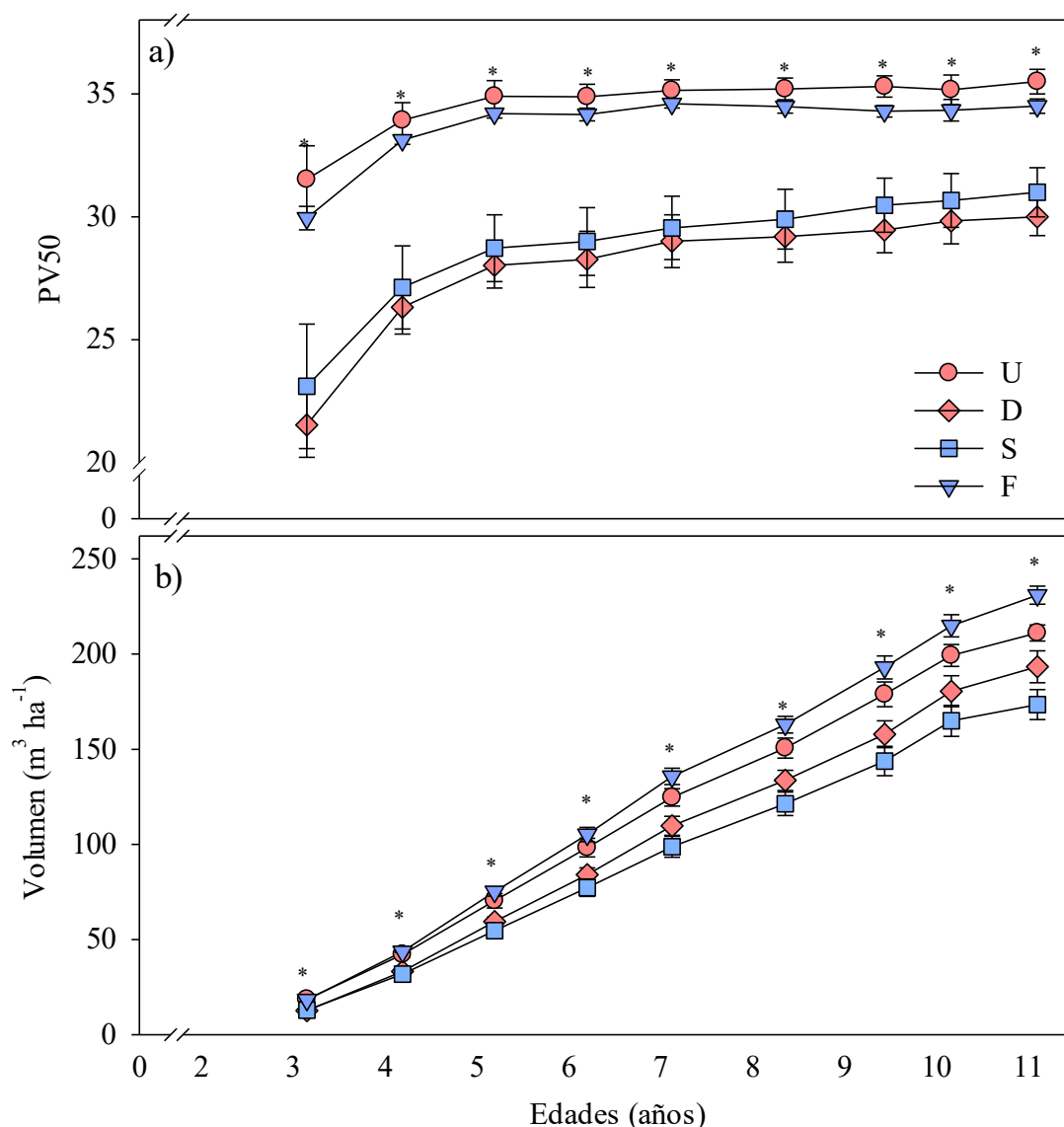


Gráfico 1. Índice PV50 (a) y volumen del tallo (b) de *Pinus taeda* L. a los 11 años cultivado en las condiciones: U - simultáneo; D - diferido; S - sin fertilización; y F - fertilizado. El asterisco en la parte superior indica la diferencia entre los tratamientos mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) ($p < 0,05$). Las barras verticales representan el error estándar.

4. CONCLUSIONES

La mayor uniformidad en los tratamientos sometidos a la plantación simultánea y fertilización en plantines clonales de *P. taeda*, indican que estas prácticas silvícolas son más eficientes en la provisión de recursos, con el fin de beneficiar la productividad relacionada con rodales con estas características. El clon de *Pinus taeda* L. evaluado responde positivamente a la fertilización, lo que nos muestra la importancia de la disponibilidad de nutrientes, a fin de brindar mejores condiciones para su crecimiento.

5. LITERATURA CITADA

- ANANDA VIRGINIA DE AGUIAR, VALDERES APARECIDA DE SOUSA, JARBAS YUKIO SHIMIZU. 2014. Especies de pinus mais plantadas no Brasil. 2ª edição Embrapa Florestas, Sistema de Produção, 5, ISSN 1678-8281. Colombo, PR, BR.
- ASPINWALL, MICHAEL J. et al. 2011. Genetic effects on stand-level uniformity and above-and belowground dry mass production in juvenile loblolly pine. *Forest Ecology and Management*, v. 262, n. 4, p. 609-619.



- CLAYTON ALCARDE ALVARES, JOSÉ LUIZ STAPE, PAULO CESAR SENTELHAS, JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES AND GERD SPAROVEK. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6. Stuttgart, Alemanha. P.711–728.
- EDILSON CARVALHO BRASIL, STEPHANE HAYARA SILVA AGUIAR, SILVIO BRIENZA JÚNIOR, VANESSA GOMES DE SOUSA, MARCOS ANDRÉ PIEDADE GAMA, RÚBIA CARLA RIBEIRO DANTAS. 2016. Adubação fosfatada e nitrogenada no desenvolvimento de plantas de paricá em um Latossolo Amarelo distrófico do nordeste do Pará. II Encontro Regional de Ciência do Solo na Amazônia Oriental – Amazon soil 2016. Capanema, PA, BR.
- FERNÁNDEZ, M. E. et al. 2011. Why do *Pinus* species have different growth dominance patterns than *Eucalyptus* species? A hypothesis based on differential physiological plasticity. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 261, p. 1061-1068.
- GERALDO MAGELA PEREIRA FILHO. 2016. Qualidade em povoamento de eucalipto: índice de uniformidade, época do replantio e relação entre o alto fuste e a talhadia. Viçosa, MG, BR.
- HAMILTON LUIZ MUNARI VOGEL, MAURO VALDIR SCHUMACHER, LINDOLFO STORCK, RUDI WITSCHORECK. 2005. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. *Ciência Florestal*, v. 15, n. 2. Santa Maria, RS, BR. P. 199-206.
- HAKAMADA, RODRIGO E. et al. 2015. Uniformidade entre árvores durante uma rotação e sua relação com a produtividade em *Eucalyptus* clonais. *Cerne*, v. 21, n. 3, p. 465-472.
- IALÊ ZIEGLER LIBANIO DA SILVA. 2020. Avaliação do Ciclo de Vida *Pinus taeda*.
- INDUSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES. 2020. Relatório anual 2020.
- JARBAS YUKIO SHIMIZU. 2008. *Pinus* na Silvicultura Brasileira. Pr: Embrapa Florestas. Colombo, PR, BR.
- JOSÉ O. BRITO, EPAMINONDAS S. B. FERRAZ, LUIZ E. C. BARRICHELO, HILTON T. Z. DO COUTO. 1986. A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* VAR. *bahamensis*. IPEF, n.32. Piracicaba, SP, BR. P.5-17.
- LETÍCIA MORO, LUCIANO COLPO GATIBONI, MARCIA APARECIDA SIMONETE, PAULO CEZAR CASSOL, DJALMA MILER CHAVES. 2014. Resposta de *Pinus taeda* com diferentes idades à adubação NPK no Planalto Sul Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Volume: 38, Número: 4. Viçosa, MG, BR.
- MAGNOS ALAN VIVIAN et al. 2015. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. *Sci. For.*, v. 43, n. 105. Piracicaba, SP, BR. P. 183-191.
- VINICIUS MORAIS COUTINHO. 2018. Definição de unidades de manejo para povoamentos de acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) por meio de geoestatística e análise multivariada. Curitiba, PR, BR.



PRODUCTIVIDAD VOLUMÉTRICA DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON *Eucalyptus grandis*

Alejandro Daniel MAGGIO¹², Federico Javier CANIZA², Juan Manuel CELLINI³, Alejandro MARTINEZ MEIER⁴

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad volumétrica de tres densidades de plantación, 3 333 árboles ha⁻¹ (AD), 1 429 árboles ha⁻¹ (MD) y 909 árboles ha⁻¹ (BD), con el clon de *Eucalyptus grandis* DDT002136 compatibles para la producción de biomasa, celulosa y madera sólida, creciendo en las lomas y planicies arenosas de la provincia de Corrientes. La densidad de plantación influyó en el desarrollo individual, se registraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables DAP, H y volumen individual, sin embargo no se registraron diferencias significativas en la productividad volumétrica por hectárea a los 50 meses, siendo de 203,8 m³ ha⁻¹; 178,9 m³ ha⁻¹ y 138,8 m³ ha⁻¹ de los tratamientos AD, MD y BD respectivamente. El clon evaluado presenta un buen potencial de crecimiento, logrando altas tasas de productividad producto del grado de mejora genética, en distintas condiciones de competencia por recursos.

Palabras clave: *densidad de plantación, silvicultura clonal, dendroenergía*

1. INTRODUCCIÓN

En la región del noreste argentino se encuentra la mayor superficie de bosques implantados de la Argentina. Corrientes es la principal provincia forestada y de mayor potencialidad. Posee más del 60 % de los recursos forestales implantados (Dirección de Recursos Forestales, Corrientes, 2018), principalmente con especies de *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.*, representando el *Eucalyptus grandis* W. Hill el 31 % de dichos recursos. Las lomas y planicies arenosas del centro y sudoeste de Corrientes, de aproximadamente 2 millones de hectáreas, representan el 40 % de la superficie con aptitud forestal de la provincia (Caniza, 2016). Son suelos arenosos que presentan baja fertilidad natural, bajo contenido de materia orgánica y son susceptibles a la erosión hídrica y eólica (Escobar et al., 1996). Estos sitios se caracterizan por la fragilidad de los tipos de arenas predominantes (Entisoles y Alfisoles), poseen uno o más factores de estrés ambiental, tales como períodos de sequía por deficiencia de precipitaciones en relación con la demanda evapotranspirativa y/o condiciones edáficas que determinan una baja (o excesiva) disponibilidad de agua para las plantas (Aparicio, 2011).

Dado que en la provincia de Corrientes recientemente se han instalado proyectos dendroenergéticos y se está analizando la posibilidad de que se establezcan proyectos celulósicos, una revisión de las prácticas de manejo silviculturales debe ser realizada. No se dispone para *Eucalyptus sp.* información sobre producción de volumen en esquemas de muy altas densidades, siendo recientes las líneas experimentales que se están desarrollando en este sentido (Fernandez y Lupi, 2016). El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción volumétrica de 3 densidades de plantación con el clon de *Eucalyptus grandis* DDT002136 compatibles para la producción de biomasa, celulosa y madera sólida, creciendo en las lomas y planicies arenosas de la provincia de Corrientes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en un ensayo de densidad de plantación de dos clones de *Eucalyptus sp.*

¹ Becario doctoral CONICET-INTA. maggio.alejandro@inta.gob.ar

² INTA EEA Bella Vista. Caniza.federico@inta.gob.ar

³ LIMAD, FCAyF, UNLP. jmc@agro.unlp.edu.ar

⁴ INTA EEA Bariloche. Martinezmeier.a@inta.gob.ar



establecido en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bella Vista del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en junio de 2016.

La EEA INTA Bella Vista se ubica a 28° 26' de latitud Sur y 58° 55' de longitud Oeste. El clima es subtropical sin estación seca, con una temperatura media anual de 20 °C. La temperatura media en el mes de julio varía entre 13 °C y 16 °C, y la media en el mes de enero entre los 26 °C y 27 °C, con máximas absolutas que superan los 40 °C. Las precipitaciones medias anuales son de 1 256,5 mm (Carnevali, 1994). El suelo pertenece al orden Entisol (Paleudalfes psaménticos), arenoso a arenoso franco, sin estructura y presenta severas limitaciones: alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, baja fertilidad natural y baja retención de humedad. Presenta buenas condiciones físicas relacionadas a la profundidad efectiva, por lo que son suelos aptos para cultivos perennes. El uso actual es frutícola, hortícola, forestal y como campo natural de pastoreo (Escobar et al., 1996).

El material genético con el que se estableció el ensayo proviene del programa de mejoramiento genético (clones) de la empresa POMERA Maderas. El desempeño de dos clones de eucalipto, el *Eucalyptus grandis* DDT002136 (2136) y un híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* DDT000X78 (X78) están siendo comparados en un módulo experimental con cinco tratamientos de densidad de plantación: 3 333 árboles ha⁻¹ (2 m x 1,5 m de distancia de plantación) hasta 909 árboles ha⁻¹ (2 m x 5,5 m), en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones para el clon 2136 y 2 repeticiones para el clon X78. Las parcelas se conformaron con 49 árboles (7 filas de 7 árboles), de las cuales se midieron los 25 árboles centrales (5 filas de 5 árboles), a fin de evitar el efecto borde.

En este trabajo presentaremos los resultados de los tratamientos de 3 333 árboles ha⁻¹ (AD), 1 429 árboles ha⁻¹ (MD) y 909 árboles ha⁻¹ (BD) del clon de *Eucalyptus grandis* 2136, los cuales representan esquemas de manejo compatibles para la producción de biomasa, celulosa y madera sólida respectivamente. Se registró la sobrevivencia y estimó la producción de volumen con y sin corteza.

El diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y la altura total (H, m) de todos los individuos fueron evaluados en 4 periodos, a los 12, 24, 36 y 50 meses de edad. Seis individuos de cada tratamiento fueron apeados en cada periodo. Los árboles apeados fueron seleccionados al azar. Inmediatamente después del volteo de los individuos seleccionados, se procedió a la medición de la altura del árbol y la cubicación del fuste con y sin corteza hasta 3 cm en punta fina según la fórmula de Smalian (1). La longitud de troza fue igual o menor a un metro.

$$V = ((D1^2 + D2^2)/2) * (\pi/4) * L \quad (1)$$

Dónde: V = volumen de la troza (m³); D1 = diámetro en punta fina (m); D2 = diámetro en punta gruesa (m); L = largo de la troza (m).

Con los valores de volumen con y sin corteza, DAP y H de los individuos apeados fueron ajustados modelos de regresión para estimar el volumen individual de todos los árboles.

$$\ln V = a + b * \ln DAP + c * \ln H$$

Dónde: V = volumen (m³); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); H = altura total (m); a, b y c = parámetros del modelo

Los volúmenes con y sin corteza estimados en las tres parcelas de cada tratamiento fueron extrapolados a valores por hectárea a partir de la sumatoria de los volúmenes de los individuos multiplicados por un factor de conversión de 44,44 para el AD, 19,05 para el MD y 12,12 para el BD dado el siguiente paso de razonamiento lógico: 3 m² árbol⁻¹ (área de ocupación de un árbol AD), 7 m² árbol⁻¹ (área de ocupación de un árbol MD) y 11 m² árbol⁻¹ (área de ocupación de un árbol BD)* 25 árboles parcela⁻¹ * 3 parcelas = 225 m², 525 m² y 825 m² para AD, MD y BD, respectivamente. O sea 10 000 m² ha⁻¹ / 225 m² (AD), 525 m² (MD) y 825 m² (BD) = 44,44, 19,05 y 12,12.

Las variables estudiadas se sometieron a un análisis de homocedasticidad mediante la prueba de Bartlett y se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov para verificar su normalidad. Las diferencias entre las variables y los tratamientos se compararon utilizando ANOVA seguido de una prueba de Tukey post hoc para datos normales y homocedásticos, prueba de One way seguido de una prueba de Lincoln para datos



normales y heterocedásticos, prueba de Kruskal Wallis para datos no normales y homocedásticos, y prueba de Welch para datos no normales y heterocedásticos. El nivel de significancia se fijó en $P < 0,05$. Todos los análisis se realizaron utilizando el software R Core Team 4.0.3 (R Core Team, 2019).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados mostraron que la densidad de plantación no influyó en el establecimiento del clon evaluado. La sobrevivencia no registró diferencias significativas entre tratamientos. A los 12 meses fue de 93 % (± 8 %), 81 % (± 14 %) y 96 % (± 4 %) para AD, MD, y BD, respectivamente. A los 24 meses, los tratamientos registraron nuevos árboles muertos, disminuyendo la sobrevivencia a 85 % (± 22 %), 70 % (± 14 %) y 86 % (± 16 %), respectivamente. No se registraron nuevos árboles muertos en meses posteriores, siendo la densidad de plantación resultante de 2 844 árboles ha^{-1} (± 734 árboles ha^{-1}), 1 010 árboles ha^{-1} (± 201 árboles ha^{-1}) y 788 árboles ha^{-1} (± 147 árboles ha^{-1}) para AD, MD y BD respectivamente. Valores similares de sobrevivencia fueron publicados por Aparicio et al. (2018) y Aparicio y Maggio (2018) para clones y material seminal de *Eucalyptus grandis* en suelos arenosos de Corrientes.

La densidad de plantación influyó en el crecimiento individual del árbol (Gráfico 1 a, b y c). Se encontraron diferencias significativas para las variables DAP, H y volumen individual del tratamiento AD con respecto a MD y BD. Estos resultados coinciden con Binkley et al. (2017) que mencionan que las variables dasométricas tienden a aumentar al disminuir la densidad de plantación.

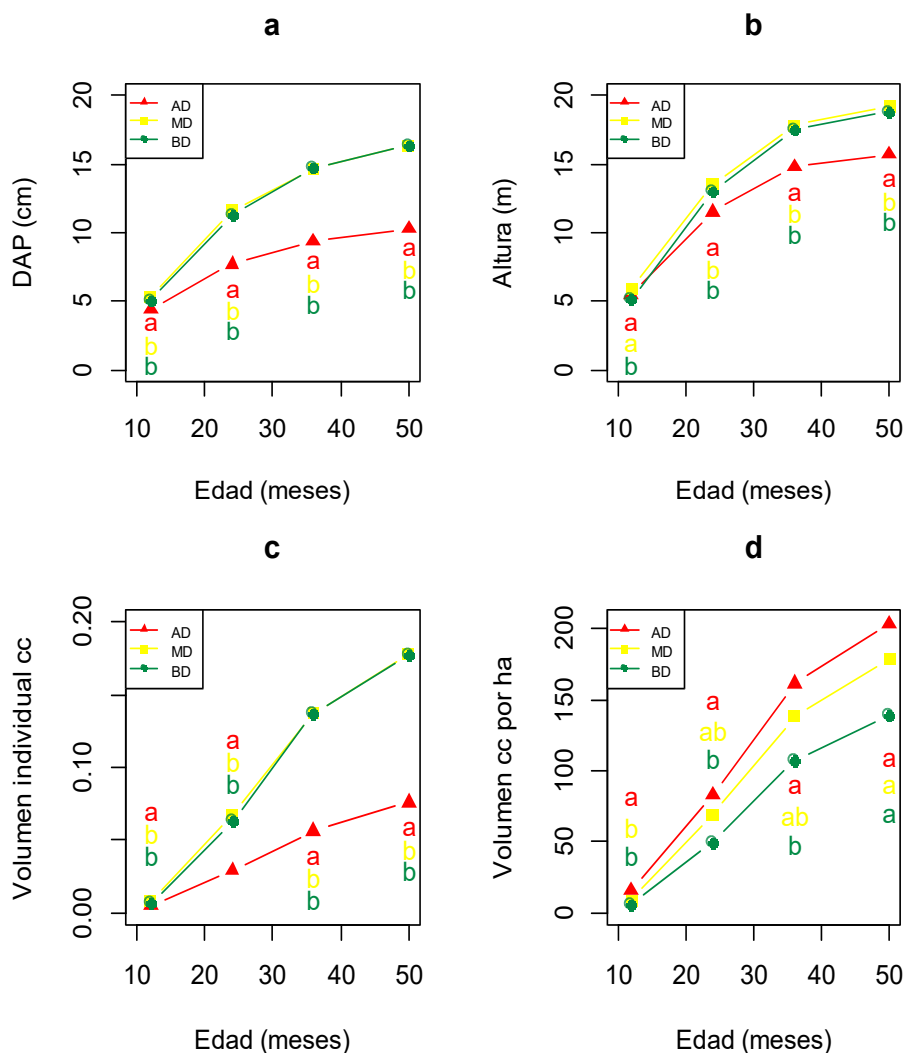


Gráfico 1. DAP, H, volumen individual con corteza (m^3 árbol $^{-1}$) y volumen con corteza por hectárea (m^3 ha^{-1}) (gráficos a, b, c y d, respectivamente) de 3 densidad de plantación de *Eucalyptus grandis* evaluados a los 12, 24, 36 y 50 meses de edad. Letras distintas establecen diferencias significativas ($p < 0,05$).



En el Cuadro 1 se presentan los parámetros de los modelos de regresión ajustados para estimar el volumen con y sin corteza. El volumen con corteza por hectárea fue significativamente diferente hasta los 36 meses de edad (3 años) (Gráfico 1 d). No obstante, a los 50 meses de edad, esas diferencias dejaron de ser significativas, aunque AD registró mayor productividad, representando un valor superior en 12,2 % y 31,8 % respecto de MD y BD. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el volumen de la corteza, representando 12,8 % ($\pm 1,5$ %), 11,1 % ($\pm 0,7$ %) y 12,2 % ($\pm 0,6$ %) del volumen total de los tratamientos AD, MD y BD respectivamente.

Dado que no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos en la producción volumétrica a los 50 meses de edad, observamos que disminuyendo la densidad de plantación del tratamiento AD con respecto al MD en casi 60 %, el crecimiento individual en volumen se duplicó. Esto podría justificar la disminución de la densidad en plantaciones con destino energético, generando una notable reducción de los costos de implantación. Por otra parte, una reducción de la densidad de 37 % del BD con respecto al MD, no determinó diferencias en el desarrollo individual del árbol pero sí determinó pérdidas en el volumen acumulado por hectárea. Por lo tanto, el tratamiento MD optimizó el desarrollo individual y la productividad volumétrica por hectárea, siendo la densidad de plantación que más alternativas de uso ofrece. No obstante, habría que analizar otras características con respecto al desarrollo individual, como ser la densidad básica de la madera, propiedades mecánicas, contenido de lignina, entre otras, con el fin de determinar los posibles usos forestales de los productos obtenidos.

Cuadro 1. Parámetros y estadísticos de los modelos de regresión ajustados para las estimaciones de volumen por tratamiento. Los coeficientes a, b, c representan los parámetros de los modelos de regresión. R²: coeficiente de determinación, n: número de efectivos, e: error estándar de la estimación.

Tratamiento	Variables	Coeficientes			R ²	n	e
		a	b	c			
AD	Volumen c/c	-9,811	1,796	1,035	99,59	24	0,0678
	Volumen s/c	-10,192	1,742	1,171	99,57	24	0,0670
MD	Volumen c/c	-9,701	1,784	1,004	99,63	24	0,0833
	Volumen s/c	-10,033	1,702	1,154	99,44	24	0,0982
BD	Volumen c/c	-9,756	1,741	1,069	99,84	21	0,0608
	Volumen s/c	-10,162	1,759	1,146	99,80	21	0,0701

En estos ambientes frágiles de la provincia de Corrientes el clon evaluado registró buenos crecimientos independientemente de la densidad de plantación. Los valores de las variables DAP, H, y la producción de volumen por hectárea resultaron superiores a los registrados para la región (Aparicio, 2012; Aparicio et al., 2018; Caniza et al., 2018), aunque estos estudios difieren en el material genético analizado y la densidad de plantación (416-1 000 árboles ha⁻¹). Para una forestación dendroenergética de *Eucalyptus grandis* con 3 330 árboles ha⁻¹, Resquin et al. (2019) publicaron valores inferiores de producción volumétrica en 2 calidades de sitio en Uruguay. Esto señala que independientemente de la densidad de plantación, el clon evaluado presenta un buen potencial de crecimiento, con altas tasas de productividad producto del grado de mejora genética, en distintas condiciones de competencia por recursos.

El impulso a la generación de energías renovables, en particular a partir de la biomasa forestal, y la posible instalación de proyectos celulósicos son oportunidades para la provincia de Corrientes, ya que cuenta con los recursos y las condiciones climáticas favorables. Sin embargo, existen muchos interrogantes sobre estos sistemas intensivos de producción respecto del turno y método de cosecha, tratamientos silviculturales óptimos bajo condiciones edafoclimáticas específicas, consumo de agua y nutrientes, costos ambientales ocultos, entre otros. Los resultados aquí presentados deberán ser acompañados de estudios que permitan contextualizar la temporalidad de estos sistemas productivos con eucaliptos en estos ambientes frágiles de la provincia de Corrientes con el objetivo de disparar la discusión sobre su conveniencia o no, dado las implicancias desde el punto de vista ambiental y social.



4. CONCLUSIONES

El clon de *Eucalyptus grandis* DDT002136 registró buenos crecimientos en las lomas y planicies arenosas de la provincia de Corrientes, independientemente de la densidad de plantación. Esta influyó en el desarrollo individual, diferenciándose el DAP, H y volumen entre el tratamiento AD con respecto a MD y BD. Sin embargo, la densidad de plantación no influyó en la productividad volumétrica por hectárea a los 50 meses, ya que no se registraron diferencias significativas entre tratamientos. El clon evaluado presenta un buen potencial de crecimiento, logrando altas tasas de productividad producto del grado de mejora genética, en distintas condiciones de competencia por recursos.

5. LITERATURA CITADA

- APARICIO, J.L. 2011. Efecto del manejo de residuos de cosecha de *Pinus elliottii* en el costo oculto de nutrientes y en el crecimiento de pino híbrido en un suelo arenoso de Corrientes. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos.
- APARICIO, J.L. 2012. Comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* en relación a un material de semilla en un suelo arenoso de Corrientes. XXVI Jornadas forestales de Entre Ríos.
- APARICIO, J.L., MAGGIO, A., FRAGUEIRO, L. 2018. Control de malezas de *Eucalyptus grandis*: Respuestas a diferentes anchos de control. XXXII Jornadas forestales de Entre Ríos.
- APARICIO, J.L., MAGGIO, A. 2018. Respuesta a la fertilización con NPK en 5 clones de *Eucalyptus grandis* en planicies arenosas de Corrientes. XXXII Jornadas forestales de Entre Ríos, 93-121.
- BINKLEY, D., CAMPOE, O., ALVARES, C., CARNEIRO, R., CEGATTA, I., STAPE, J.L. 2017. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. *Forest Ecology and Management* 405 (2017) 271–283.
- CANIZA, F. 2016. Silvicultura clonal del *Eucalyptus grandis* en la mesopotamia Argentina. *Revista Chacra*. Recuperado de <https://www.revistachacra.com.ar/nota/silvicultura-en-la-mesopotamia-argentina/>
- CANIZA, F.J., GARCIA, M., APARICIO, J.L., DE LA PEÑA, C., MASTRANDREA, C., FLORES PALENZONA, M., BARRIOS, M.F., MARTINEZ, M. 2018. Avances del INTA en la silvicultura clonal de *Eucalyptus grandis* en la mesopotamia argentina. XXXII Jornadas forestales de Entre Ríos.
- CARNEVALI, R. 1994. Fitogeografía de la Provincia de Corrientes: Cartas, escalas 1:500.000 y 1:1.000.000. Gobierno de la Provincia de Corrientes. INTA. Corrientes.
- DIRECCIÓN DE RECURSOS FORESTALES, CORRIENTES. 2018. Actualización del inventario forestal de bosques cultivados. Recuperado de <https://apefic.org.ar/wp-content/uploads/2019/12/Inventario-Forestal-2018.pdf>
- ESCOBAR, E.H., LIGIER, H.D., MELGAR, R., MATTEIO, H., VALLEJOS, O. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. EEA Corrientes. 432 pp.
- FERNANDEZ, R., LUPI, A.M. 2016. Potencial de desarrollo de plantaciones dendroenergéticas en Argentina. Ediciones INTA. 207pp.
- RESQUIN, F., NAVARRO-CERRILLO, R., CARRASCO-LETELIER, L., RASCHID, C. 2019. Influence of contrasting stocking densities on the dynamics of above-ground biomass and wood density of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunni* and *Eucalyptus grandis* for bioenergy in Uruguay. *Forest Ecology and Management*, 438, 63-74. doi:10.1016/j.foreco.2019.02.007



Desde 1946 AFOA es la única entidad nacional que representa al sector forestal de la Argentina. Está integrada por empresas, productores forestales, estudiantes y profesionales independientes vinculados al sector forestal, la industria y servicios asociados. Tiene Regionales en las zonas de máximo desarrollo forestal. Su principal objetivo es fomentar el desarrollo de la foresto industria y sus servicio de forma económicamente competitiva, socialmente responsable y ambientalmente sustentable.-

<https://www.foa.org.ar/>

Bme Mitre 1895 - CABA

Teléfono: (0054-11) 5234-2636

Regional Rio Uruguay: afoaru@gmail.com

correo@afoa.org.ar

SINCE 1876

ARS



MADE IN JAPAN

Cut Above the Rest

Serrucho Poda con
pertiga Telescópico
Exw-1.80/300mm



Tijera Poda Cb-9



Tijera Dos Manos
Lpb-30m 63cm.



Serrucho Poda
Uv-40 forestal



IMPORTA Y DISTRIBUYE:



www.bermon.com.ar

KASSET

Un futuro sustentable



Nos inspira la naturaleza

Por eso elaboramos nuestros productos a partir de las fibras renovables de eucaliptus. Un ciclo virtuoso que comienza y termina en la tierra, una y otra vez.

Papeles premium para packaging, impresión, escritura y productos para la higiene. 100% reciclables y biodegradables. Nuestro compromiso por un futuro sustentable para todos.



FSC-C006213 - Consulte por nuestros productos certificados.





Basacote®

Nutrición segura y eficiente.

Liberación controlada.

Adaptabilidad a los
requerimientos de los cultivos.



 www.coinsasa.com.ar

 Alvear 1263, Concordia, Entre Ríos
 +54 345 4218355  +549 345 5284743
 info@coinsasa.com.ar -  



EFFECTO DE LA ÉPOCA Y LA INTENSIDAD DE PODA TEMPRANA SOBRE LA CICATRIZACIÓN DE LAS HERIDAS EN DOS CLONES DE EUCALIPTO

María de los Ángeles GARCÍA¹ y Sergio O. RAMOS¹

RESUMEN

La poda en plantaciones forestales se realiza con el objetivo de eliminar ramas vivas hasta una determinada altura para obtener madera libre de nudos. El resultado de esta práctica silvicultural depende de varios factores, entre ellos el momento y la época en que se lleva a cabo, la altura que se alcanza y el material genético. Con el objetivo de evaluar el efecto de la intensidad y la época de poda se llevó a cabo un ensayo con dos clones: EG INTA 152 y GC INTA 27, dos intensidades: >40 % (T1) y <40 % de copa remanente (T2) y dos épocas: primavera e invierno. Se midieron los diámetros vertical y horizontal de los nudos mensualmente durante un año, y se registraron en cada fecha los nudos cerrados o cicatrizados. Se observan diferencias en las velocidades de cicatrización: las heridas de poda de primavera cicatrizaron más rápido que las de invierno. El clon EG INTA 152 cicatrizó más rápido las heridas de poda que el clon híbrido GC INTA 27 en ambas épocas de poda. En la evaluación de la poda de primavera las plantas de T1 presentaron una mayor proporción de las heridas cicatrizadas (100 % EG INTA 152 y 75 % GC INTA 27) en comparación con las plantas de T2 (85 % EG INTA 152 y 43 % GC INTA 27). En cambio, en la poda de invierno las plantas de T1 mostraron menor proporción de heridas de poda cicatrizadas (52 % EG INTA 152 y 40 % GC INTA 27) que las plantas de T2 (72 % EG INTA 152 y 58 % GC INTA 27).

Palabras clave: *madera de calidad, silvicultura, EG INTA 152, GC INTA 27*

1. INTRODUCCIÓN

La poda en plantaciones forestales se realiza con el objetivo de eliminar ramas vivas hasta una determinada altura para obtener madera libre de nudos, pero genera heridas que pueden afectar la sanidad de los árboles (Vignote Peña et al., 2013). Para que las heridas de la poda tengan una buena cicatrización, sin afectar el desarrollo del árbol, los cortes deben procurar no dañar el cuello de la rama ni dejar muñón (Aparicio y Caniza, 2009).

En esta región las plantaciones de eucalipto se podan según el tamaño de las plantas y la disponibilidad de recursos para realizar la tarea. En general la primera poda se realiza entre uno y dos años de edad, en otoño-invierno. A pesar de las diferencias entre clones de eucalipto en cuanto a la persistencia de las ramas y al crecimiento, las plantaciones clonales se podan sin tener en cuenta esas cuestiones, aplicando muchas veces podas tardías a árboles con gran proporción de ramas muertas y con diámetros mayores a los del cilindro nudoso objetivo (García y Ramos, 2020).

Por otro lado, cada poda implica un gasto que debe justificarse por el aumento en el precio de los rollizos podados, que se comercializan en largos y diámetros en punta fina variables según el aserradero (García et al., 2020). Realizar la poda en una sola intervención permitiría obtener al menos un rollizo basal podado y podrían reducirse los costos. Pero la excesiva remoción de la copa viva puede afectar el crecimiento y retrasar la cicatrización de las heridas (Larocca et al., 2004), y por lo tanto la formación de madera sin nudos. Además, mientras algunos recomiendan podar a fines del invierno y comienzo de la primavera para una cicatrización más rápida de las heridas y evitar los brotes epicórmicos (Trokey y McGinnes, 1993; Colorado State Forest Service, 2020), otros recomiendan podar durante el otoño e invierno para evitar flujo de savia y ataques de insectos (Maine

¹ Estación Experimental Agropecuaria Concordia INTA. Departamento Forestales. Ruta Prov. 22 y FFCC, estación Yuquerí CP 3200



Forestry, 2007; OSU, 2012). Por otro lado, Muhammad Hassani (2019) aclara que la época más conveniente para la poda depende de las especies, y como recomendación general indica que es más conveniente podar árboles perennifolios a fines de invierno para favorecer la cicatrización, y los caducifolios en invierno. Sin embargo, no existen antecedentes sobre cuándo realizar esa intervención para favorecer una rápida cicatrización de los diferentes materiales que se cultivan en la región Noreste de Entre Ríos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la intensidad y la época de poda sobre la velocidad del cierre de las heridas en dos clones comerciales de eucalipto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó el seguimiento del cierre de las heridas de poda en plantas de lotes demostrativos de los clones EG INTA 152 y del híbrido GC INTA 27 ubicados en campo El Alabrado, aguas abajo de la represa de Salto Grande, Concordia, provincia de Entre Ríos. Los lotes fueron plantados a dos espaciamientos: 5 m x 2,5 m (800 plantas.ha⁻¹) y 5 m x 3 m (667 plantas.ha⁻¹). Una mitad de cada lote se podó en primavera, a los 13 meses de edad y la otra mitad en invierno, a los 20 meses de edad, dejando en cada sector plantas con >40 % (entre 40 % y 63 %) (T1) y con <40 % (entre 20 % y 36 %) de copa viva remanente (T2). De cada lote se tomaron 6 plantas con cada proporción de copa viva remanente. En la porción del fuste entre 1,2 m y 1,4 m desde la base se midieron con calibrador digital los diámetros vertical y horizontal de los nudos, inmediatamente después de la poda (diámetro inicial) y mensualmente durante un año, y se registraron en cada fecha los nudos cerrados o cicatrizados.

Además se midieron: variables dasométricas (altura total y diámetro normal) al inicio del ensayo y al final del seguimiento del cierre de las heridas de poda, y la orientación de los nudos. Esos datos y su relación con el cierre de las heridas de poda no han sido aún analizados por haberse terminado las mediciones de altura y diámetro de los árboles al momento de presentar este trabajo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los diámetros iniciales de los nudos fueron en promedio mayores en el clon EG INTA 152 que en el GC INTA 27, en las dos épocas de poda (Cuadro 1). Se observan diferencias en las velocidades de cicatrización: las heridas de poda de primavera (Figura 1) cicatrizaron más rápido que las de invierno (Figura 2). Estos resultados coinciden con los encontrados por Perry y Hickman (1987), que evaluaron durante dos años el cierre de heridas causadas en fustes de *Eucalyptus camaldulensis*, donde pudieron observar que las heridas realizadas en primavera cicatrizaron más rápido que las realizadas a fines de otoño y comienzos del invierno.

Con respecto a los clones, el análisis de la evolución mensual del diámetro de la cicatrización muestra que el clon EG INTA 152 cicatrizó más rápido las heridas de poda que el clon híbrido GC INTA 27, tanto en poda de primavera (Figura 1) como en poda de invierno (Figura 2). En la poda de primavera la velocidad de cierre fue marcadamente mayor en los meses de verano para luego estabilizarse en el otoño e invierno; algo similar sucedió con la poda de invierno, en la que las heridas cerraron lentamente en los primeros meses pero la velocidad de cierre aumentó durante los meses de verano.

Al final de la evaluación, a los 12 meses después de la poda, se observó en el lote podado en primavera que en T1 ambos clones presentaban una mayor proporción de las heridas cicatrizadas en comparación con las plantas de T2. En cambio, para la poda de invierno las plantas de T2 mostraron mayor proporción de heridas de poda cicatrizadas que las plantas de T1 (Figura 3). Larocca et al. (2004) mencionan que ensayos de poda de eucaliptos de 18 meses de edad mostraron que podas de más del 50 % de la copa afectaban el crecimiento y producían quiebres y brotes epicórmicos. Saraiva Nogueira et al. (2015) en ensayos de poda a 6 m de altura aplicada a los 27 meses a eucaliptos híbridos en Brasil, donde removieron de 1,5 m a 0,1 m de la copa viva no encontraron efectos sobre el crecimiento con esas intensidades de poda. No se encontraron antecedentes sobre el efecto de la proporción de copa viva removida sobre el cierre de las heridas.



Cuadro 1. Diámetro inicial de nudos de los materiales genéticos utilizados en el estudio

Edad	época poda	Clon	Diámetro inicial medio (mm)
13 meses	primavera	EG INTA 152	9,5
		GC INTA 27	6,9
20 meses	invierno	EG INTA 152	12,0
		GC INTA 27	7,1

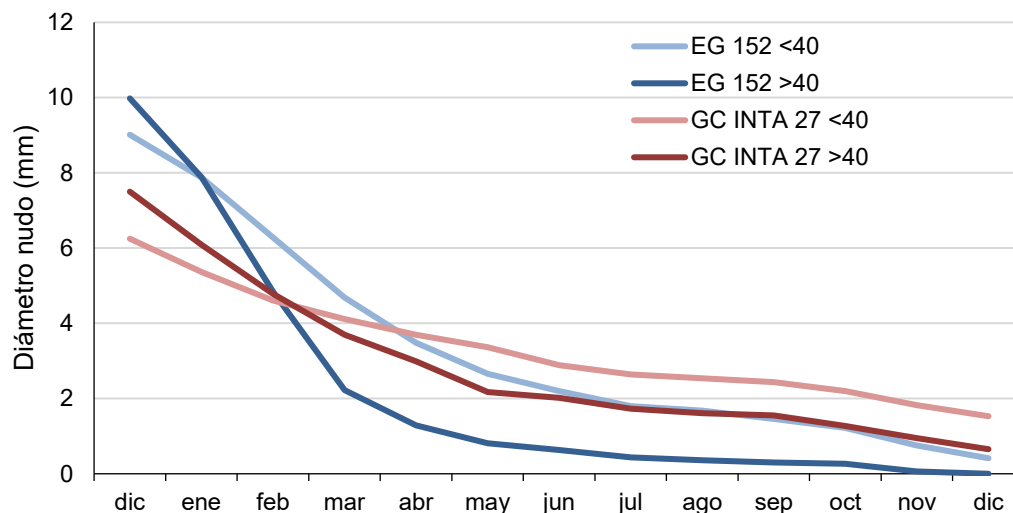


Figura 1. Evolución del tamaño de los nudos en plantas podadas en primavera según clon y % de copa viva remanente (>40 %, <40 %).

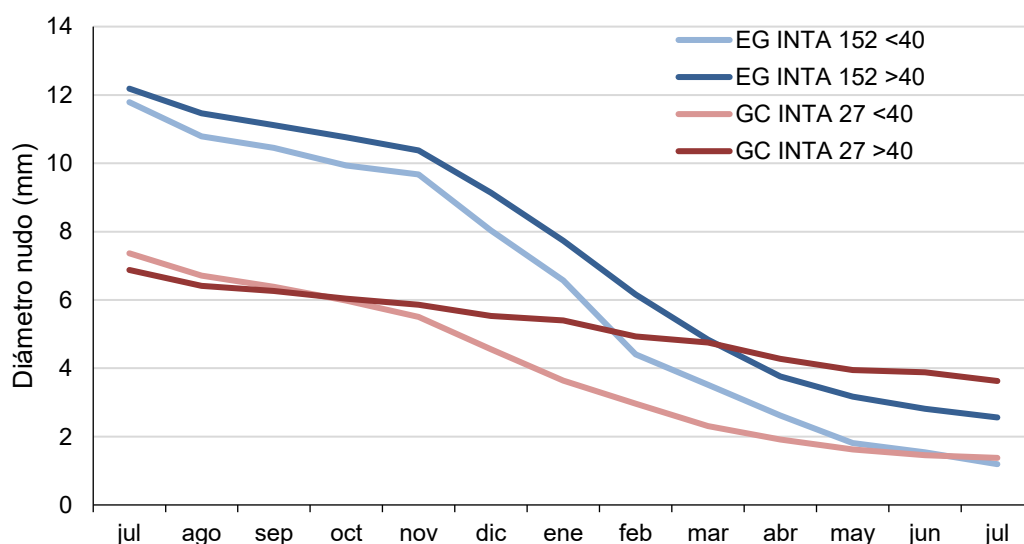


Figura 2. Evolución del tamaño de los nudos en plantas podadas en invierno según clon y % de copa viva remanente (>40 %, <40 %).

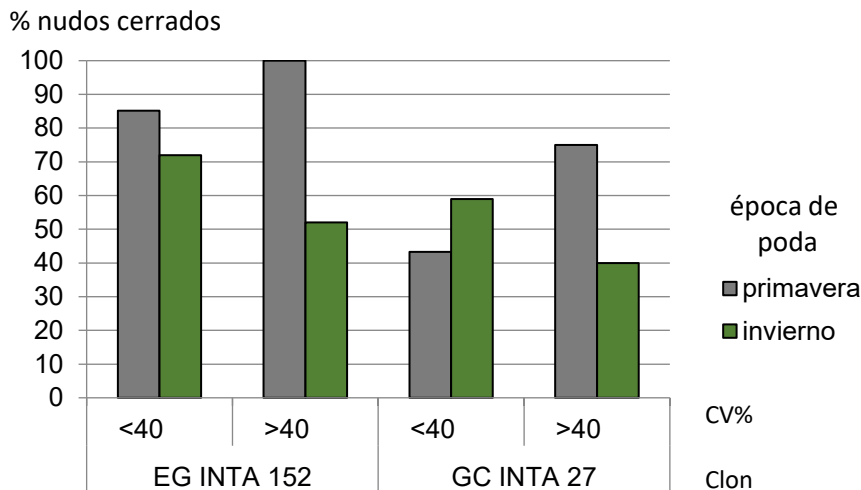


Figura 3. Proporción de nudos cerrados al final de la evaluación (12 meses después de la poda) según clon, porcentaje de copa remanente (CV%) y época de poda.

4. CONCLUSIONES

- Las heridas de poda de primavera cicatrizaron más rápido que las de invierno.
- El clon EG INTA 152 cicatrizó más rápido las heridas de poda que el clon híbrido GC INTA 27, en ambas épocas de poda.
- Las plantas de podadas en primavera con >40 % de copa remanente presentaron una mayor proporción de las heridas cicatrizadas en comparación con las plantas con <40 % de copa remanente
- Las plantas podadas en invierno con >40 % de copa remanente mostraron menor proporción de heridas de poda cicatrizada en comparación con las plantas con <40 % de copa remanente.

Para poder recomendar sobre época e intensidad de poda en forma más general estas evaluaciones deberán realizarse en otros clones comerciales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO J. Y F. CANIZA. 2009. Pautas para la producción de madera libre de nudos de Pinus sp. y Eucalyptus grandis. En: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_madera_libre_de_nudos_pinus_sp_eucalyptus_gran.pdf.
- COLORADO STATE FOREST SERVICE. 2020. Late Winter the Best Time to Prune Trees. Colorado State University. En: <https://csfs.colostate.edu/2020/03/11/late-winter-the-best-time-to-prune-most-trees/>
- GARCÍA M. DE LOS A. Y S. RAMOS. 2020. Evaluación de poda temprana en clones de eucalipto. En: <https://inta.gob.ar/noticias/evaluacion-de-poda-temprana-en-clones-de-eucalipto>
- GARCÍA M. DE LOS A., C. DE LA PEÑA, S. RAMOS Y J. ALEJANDRO. 2020. Evaluación de poda en clones de eucalipto. En: <https://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-poda-en-clones-de-eucalipto>
- LAROCCA, F., F. DALLA TEA Y J. APARICIO. 2004. Técnicas de implantación y manejo de Eucalyptus grandis para pequeños y medianos forestadores en Entre Ríos y Corrientes. XIX Jornadas de Entre Ríos. Concordia, octubre de 2004. 16 pp.
- MAINE FORESTRY. 2007. Pruning Your Forest Trees. En: <https://www.maineforestry.net/pruning-forest-trees>.
- Muhammad Hassani N. J. 2019. Tree Pruning – A Detailed Note. General Silviculture. Forestrypedia. En: <https://forestrypedia.com/tree-pruning-a-detailed-note/>
- OREGON STATE UNIVERSITY (OSU). 2012. Tree Pruning Basics. OSU Extension Service. En: <https://extension.oregonstate.edu/crop-production/fruit-trees/tree-pruning-basics>



TROKEY C. B. Y E.A. MCGINNES, JR. 1993. Pruning Forest Trees. School of Natural Resources, University of Missouri. En: <https://extension.missouri.edu/publications/g5160>.

VIGNOTE PEÑA, S., I. MARTÍNEZ-ROJAS Y A. VILLASANTE PLÁGARO. 2013. Silvicultura y calidad de madera. Curso inaugural de la ETSI de Montes, 2013. Biblioteca virtual Universidad Politécnica de Madrid. En la web: <http://oa.upm.es/21580/>



ECUACIONES DE VOLUMEN COMERCIAL DE FUSTE DE *Melia azedarach* Y *Grevillea robusta* EN PLANTACIONES MIXTAS DE MISIONES (ARGENTINA)

Víctor R. PEREZ¹, Herman HAMPEL²

RESUMEN

Las plantaciones mixtas incluyen dos o más especies combinadas en un mismo espacio, con el objetivo de proveer diferentes productos e ingresos escalonados en el tiempo. Dada la inexistencia de ecuaciones de volumen para las especies aquí referidas en rodal mixto, el objetivo del presente estudio fue generar ecuaciones de volumen comercial de fuste para árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas. Mediante técnica estadística de regresión nueve modelos matemáticos fueron analizados a través de diversos criterios y estadísticos, definiéndose como variable explicada al volumen comercial del fuste y como variables regresoras el diámetro a 1,30 m y la altura del fuste o las transformaciones de estas. La información dasométrica procedió de 68 ejemplares de *Grevillea* y 66 individuos de Paraíso, obtenida de plantaciones mixtas de la provincia de Misiones mediante técnica de medición no destructiva. El 73% de los datos se utilizó en el proceso de selección de los mejores modelos y el 27% restante se reservó para la fase de validación. Superiores respuestas se lograron con los modelos logarítmicos de Kawas (1978) y Schumacher–Hall (1933), aunque los mejores estadísticos y mayor ajuste se lograron con el último modelo, alcanzándose alta exactitud y precisión.

Palabras clave: rodal mixto, regresión, selección de modelo, validación

1. INTRODUCCIÓN

En las funciones volumétricas del fuste se relaciona matemáticamente al volumen como variable explicada con otras variables explicativas, como ser, diámetro normal, altura y forma del fuste. Al utilizarse dos o más variables explicativas las funciones se clasifican como de volumen general. A partir de la función de volumen que se aplica a nivel de árboles individuales, es posible realizar estimaciones de volumen a escala del rodal (Finger, 1992). Es muy variado el número de árboles que se utilizan en el tamaño de la muestra para validar el modelo, dependiendo de cuestiones estadísticas (precisión, error, etc.), del tiempo y recursos humanos, materiales y económicos disponibles (Prodan et al., 1997; Hernández, 2013). Los modelos de volumen individual incluyen funciones lineales y no lineales. Entre estos últimos algunos modelos pueden linealizarse mediante logaritmos para facilitar el ajuste y/o para homogeneizar la varianza. Dada la existencia de una variedad importante de modelos alternativos, en la selección de los más apropiados deben considerarse criterios de simplicidad, objetividad y precisión. En este sentido Cancino (2006) para la selección del mejor modelo señala que pueden usarse varios criterios, como ser: la bondad del ajuste de la ecuación medida por el coeficiente de determinación ajustado, el error estándar de la media, el cuadrado medio del error y el Índice de Furnival, entre otros.

En la región mesopotámica de la Argentina son escasas y recientes las referencias bibliográficas sobre ecuaciones y tablas de volumen total en términos absolutos y relativos, con y sin corteza, construidas con información dasométrica de árboles de *Grevillea robusta* (*Grevillea*). Crechi et al. (2003, 2004, 2008) realizaron estudios en base a muestras de plantaciones de *Grevillea* en la provincia de Misiones, evaluándose diversas funciones de volumen. No se encontraron publicaciones sobre funciones de volumen para *Melia azedarach* (Paraíso). El objetivo del presente estudio fue generar ecuaciones de volumen comercial de fuste para árboles individuales de *M. azedarach* (Paraíso) y *G. robusta* (*Grevillea*) componentes de plantaciones mixtas. Hipótesis formulada: “Por medio de modelos matemáticos cuyas

¹ Docente investigador. Facultad Recursos Naturales, UNaF. Correo: victorforestal8@gmail.com

² Profesional de Danzer Veneer Americas, EEUU. Correo: hermannhampel@hotmail.com



variables explicativas son diámetro a la altura del pecho y altura del fuste y/o sus transformaciones, se logran predicciones precisas y confiables del volumen de fuste de árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta* componentes de plantaciones mixtas manejadas, aplicables a la región de donde proceden las muestras”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos dasométricos obtenidos de tres plantaciones mixtas manejadas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*, ubicadas en la provincia de Misiones, aproximadamente a 17 km de la ciudad de Posadas. Las densidades iniciales de las plantaciones fueron 834 y 1111 pl.ha⁻¹; ambas especies fueron plantadas simultáneamente y con 50% de participación cada una en el rodal. Los datos proceden de 68 árboles de Paraíso, rango de diámetro normal entre 10 y 40 cm; y de 66 ejemplares de Grevillea, rango diamétrico de 10 a 40 cm. El 73% de los datos se utilizó en la prueba inicial de todos los modelos. La base remanente se aplicó para la validación de los mejores modelos. En ambas especies los datos fueron agrupados en clases diamétricas, representadas cada una por 4 a 5 árboles de cada especie. Los árboles fueron elegidos al azar dentro de cada clase diamétrica (Prodan et al., 1997; Hernández, 2013; REED/CCAD – GIZ, 2014).

En las mediciones se utilizaron técnicas no destructivas, haciendo uso de cinta dendrométrica, vara telescópica, escalera articulada de aluminio y el hipsómetro Vertex®. En los árboles seleccionados se midieron los diámetros con corteza, a las alturas de 0,10 m; 0,30 m; 1,30 m; 2,0 m y luego cada 2 m. El límite superior del fuste en el caso del Paraíso se fijó a 25 cm aproximadamente por debajo del punto en que se inserta la copa en el tallo. En Grevillea la medición se realizó hasta el extremo superior de la copa. Se utilizó la fórmula de Smalian para calcular el volumen de cada sección desde el tocón hasta el diámetro en punta fina predeterminado. Para el cálculo del volumen de la porción terminal del tronco de Grevillea se aplicó la fórmula volumétrica del cono (Prodan et al., 1997; Cancino, 2006; Crechi et al., 2003, 2004, 2008). Los volúmenes estimados para las diversas secciones fueron acumulados para cada árbol a fin de obtener el volumen comercial (para el caso se consideró al sector podado del fuste) con corteza.

Teniendo en cuenta que el desrame y poda de los ejemplares de Paraíso se hace a edad temprana definiendo el fuste, toda la porción por debajo del punto de inicio de la copa (el fuste) es considerada como longitud potencialmente comercial. En el caso de Grevillea, de ramificación monopódica, la longitud de fuste con potencial comercial depende de la altura de la última poda sistemática. En el cuadro siguiente (Tabla 1) se resume las prácticas de podas ejecutadas en dicha especie en la plantación mixta estudiada. En la muestra de Grevillea usada para el ajuste y validación, los árboles con DAP ≤ 20 cm tenían aplicadas las dos primeras podas y los ejemplares con DAP > 20 cm poseían la máxima longitud de fuste comercial producto de la aplicación de tres podas sistemáticas.

Tabla 1. Prácticas de podas realizadas en *Grevillea robusta*

Primera Poda Sistemática	Segunda Poda sistemática	Tercera Poda sistemática
Totalidad de plantas. Altura de poda hasta 1.50 a 2.00 m.	Al 75% de la densidad. Altura de poda hasta 3.50 a 4.00 m.	Solo a 220 plantas.ha ⁻¹ , aproximadamente. Altura de poda hasta 5.00 a 5,50 m.

Diferentes modelos matemáticos fueron examinados y analizados a través de la técnica estadística de regresión (Tabla 2). Se definió como variable explicada al volumen comercial del fuste (vc) y como variables regresoras, el diámetro a 1,30 m (dap) y la altura del fuste (hf), o transformaciones de estas. La evaluación de los modelos se realizó a través de: coeficiente de determinación ajustado (R² aj), error estándar del estimado en valores absolutos y relativos (Syx, Syx%), valor F de Snedecor, estadístico de Durbin-Watson (D-W), y evaluación gráfica de los residuos frente a los predichos. Se utilizó el Índice de Furnival al comparar ecuaciones con variable explicada expresada como logaritmo respecto de otra dependiente sin logaritmo, o para comparan ecuaciones con diferente cantidad de parámetros. Para estimar valores con modelos logarítmicos se aplicó el factor de corrección de la discrepancia logarítmica propuesto por Meyer (1941) citado por Crechi et al. (2003). Ese factor de corrección se utilizó en el cálculo de los volúmenes estimados con ecuaciones logarítmicas.



Tabla 2. Modelos de regresión utilizados para determinar funciones de volumen comercial de fuste de árboles individuales de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en plantaciones mixtas.

N° de Modelo	VARIABLES Regresoras	Modelos	Autor (denominación)
1	dap	$vc = b_0 + b_1 * dap$	Modelo lineal
2	dap ²	$vc = b_0 + b_1 * dap^2$	Dissescu-Stanescu (1956)
3	dap ² *hf	$vc = b_0 + b_1 * dap^2 * hf$	Spurr (1952)
4	ln dap	$vc = b_0 + b_1 * \ln dap$	Husch (1952)
5	dap, hf	$vc = b_0 + b_1 * dap + b_2 * hf$	Polinómica
6	dap ² , hf	$vc = b_0 + b_1 * dap^2 + b_2 * hf$	Polinómica
7	ln (dap*hf)	$\ln vc = b_0 + b_1 * \ln (dap * hf)$	Logarítmica
8	ln dap, ln hf	$\ln vc = b_0 + b_1 * \ln dap + b_2 * \ln hf$	Schumacher – Hall (1933)
9	ln (dap ² *hf)	$\ln vc = b_0 + b_1 * \ln (dap^2 * hf)$	Kawas (1978)

Realizada la preselección de los mejores modelos posteriormente se efectuó la selección definitiva del mejor modelo ajustado con base a los siguientes criterios estadísticos: Error Cuadrático medio - ECM (Prodan et al., 1997), prefiriéndose siempre al modelo que presente el menor valor de este estimador. Por otro lado, para validar los modelos se utilizaron dos estimadores estadísticos (Cao et al., 1980): en la evaluación de la exactitud se usó Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC); y para el sesgo se recurrió al estimador de la Diferencia Agregada (DA). Para este estudio se establecieron como valores máximos permisibles el 10% para el error y 5% para el sesgo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Funciones de Volumen para Árboles Individuales

En las Tablas 3 y 4 se exponen los principales resultados analíticos obtenidos durante la evaluación preliminar de los modelos. Cuando el valor D-W aparece colocado entre paréntesis se refiere a que el valor “p” es menor que 0,05, indicando una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95%. A partir de la evaluación de los residuos este estadístico revela si existe una correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en la base de datos.

Tabla 3. Coeficientes de determinación ajustado (R² aj) y estimador estadístico Durbin -Watson (D-W) para ecuaciones que estiman volumen comercial individual de *Melia azedarach* en plantación mixta.

Mod.	Ecuaciones	R2 aj	D-W	n
1	$vc = -0,21801 + 0,01831 * dap$	0,8988	1,80	50
2	$vc = 0,00626 + 3,27676 * dap^2$	0,9047	1,88	50
3	$vc = 0,00798 + 0,73802 * (dap^2 * hf)$	0,9812	2,34	50
4	$vc = -1,16100 + 0,44597 * \ln dap$	0,8421	(1,17)	50
5	$vc = -0,33558 + 0,01772 * dap + 0,03092 * hf$	0,9316	(1,12)	50
6	$vc = -0,15632 + 3,18624 * dap^2 + 0,03930 * hf$	0,9600	(1,56)	50
7	$\ln vc = -8,78991 + 1,54808 * \ln (dap * hf)$	0,9190	(1,14)	50
8	$\ln vc = -9,01797 + 1,97161 * \ln dap + 0,75132 * \ln hf$	0,9893	2,15	50
9	$\ln vc = -0,32305 + 0,94858 * \ln (dap^2 * hf)$	0,9859	1,75	50

Tabla 4. Coeficientes de determinación ajustado (R² aj) y estimador estadístico Durbin-Watson (D-W) para ecuaciones que estiman volumen comercial individual de *Grevillea robusta* en plantación mixta.

Mod.	Ecuaciones	R2 aj	D-W	n
1	$vc = -0,27840 + 0,02286 * dap$	0,9241	1,65	48
2	$vc = -0,03286 + 4,70374 * dap^2$	0,9459	2,28	48
3	$vc = 0,01597 + 0,62122 * (dap^2 * hf)$	0,9811	2,09	48
4	$vc = 0,99449 + 0,48411 * \ln dap$	0,8494	(0,86)	48
5	$vc = -0,31427 + 2,04209 * dap + 0,016693 * hf$	0,9370	(0,81)	48
6	$vc = -0,12114 + 4,08915 * dap^2 + 0,022591 * hf$	0,9746	(1,43)	48
7	$\ln vc = -1,90059 + 1,34282 * \ln (dap * hf)$	0,9541	2,09	48
8	$\ln vc = 0,30240 + 2,03377 * \ln dap + 0,636435 * \ln hf$	0,9954	2,22	48
9	$\ln vc = -0,48391 + 0,90056 * \ln (dap^2 * hf)$	0,9901	2,13	48

Posteriormente se realizó el proceso de validación de las ecuaciones obtenidas inicialmente. En esta instancia se excluyeron 6 datos de Paraíso y 3 de *Grevillea* por su condición de valores “outliers”. Estos



datos dudosos fueron eliminados, de acuerdo a lo planteado por Ditlevsen (1980), porque estaban fuera del intervalo “promedio \pm 3 desvío estándar”. Con el conjunto total de datos depurados se efectuó un nuevo ajuste. En la Tabla 5 se presentan los valores estimados exactitud y sesgo para los tres mejores modelos.

Tabla 5. Valores de Error Cuadrático Medio (ECM), Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC) y Diferencia Agregada (DA) de los mejores modelos para la estimación del volumen comercial de fuste de *M. azedarach* y *G. robusta*.

	Ecuación	ECM	REMC (%)	DA (%)
<i>Melia azedarach</i>	3	0,00058	8,32	0,000
Volumen Comercial de Fuste	9	0,00057	8,25	0,448
	8	0,00050	7,70	0,263
<i>Grevillea robusta</i>	3	0,00080	9,66	- 1,010
Volumen Comercial de Fuste	9	0,00080	9,67	- 0,070
	8	0,00034	6,30	- 0,440

En Tabla 6 se han incluido las ecuaciones definitivas de los tres mejores modelos para cada especie (par = *Melia azedarach*; gre = *Grevillea robusta*). En todas las ecuaciones ajustadas el estadístico razón-F fue altamente significativo, registrándose errores típicos relativos (Syx o IF, %) pequeños (< 10%) a muy pequeño (< 8%), especialmente en los modelos logarítmicos. Los valores de R² ajustado resultaron \geq 0,98. El estadístico de Durbin-Watson (D-W) ha tenido un valor “p” mayor que 0,05, indicando que no existe autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95%. El examen analítico fue complementado con el análisis gráfico de la distribución aleatoria de los residuos, no observándose presencia de tendencias, salvo en el modelo 3 de Spurr (1952); este presenta analíticamente valores estadísticos ventajosos pero tiene el inconveniente de no cumplimiento del supuesto de homocedasticidad en los residuos.

Tabla 6. Tres mejores ecuaciones para *M. azedarach* y *G. robusta* con sus respectivos coeficientes de determinación ajustado (R² aj), error de estimación estándar relativo / Índice de Furnival (Syx-IF %) y estimador estadístico Durbin-Watson (D-W).

Mod-Sp	Ecuaciones	F	R ² aj	Syx-IF%	D-W	N
3 par	$vc = 0,00743 + 0,76099 * (dap^2 * hf)$	4108	0,985	8,46	2,15	62
9 par	$\ln vc = - 0,27746 + 0,96501 * \ln (dap^2 * hf)$	8436	0,993	1,63	1,63	62
8 par	$\ln vc = 0,04678 + 1,99344 * \ln dap + 0,80116 * \ln hf$	6425	0,995	1,32	1,69	62
3 gre	$vc = 0,01487 + 0,61708 * (dap^2 * hf)$	2893	0,979	9,75	1,74	63
9 gre	$\ln vc = - 0,49593 + 0,89708 * \ln (dap^2 * hf)$	6464	0,991	1,95	1,86	63
8 gre	$\ln vc = 0,31994 + 2,03302 * \ln dap + 0,62250 * \ln hf$	7031	0,996	1,33	2,08	63

A partir de los resultados antes referidos para ambas especies, se acepta la hipótesis de investigación formulada, respecto de que por medio de modelos matemáticos se lograrían predicciones precisas y confiables del volumen comercial de árboles individuales de *M. azedarach* y de *G. robusta* de plantaciones mixtas manejadas. Si bien para cada especie las tres ecuaciones resultaron apropiadas, cabe destacar que en las ecuaciones del modelo logarítmico 8 (Schumacher – Hall, 1933) los indicadores estadísticos resultaron levemente superiores y cumpliendo íntegramente los supuestos del análisis de regresión.

En el caso de *Grevillea* se estimó que el volumen de fuste con corteza potencialmente comercial considerado como tal desde el nivel del suelo hasta la altura libre de brotes y ramas como consecuencia del manejo silvícola, representa aproximadamente el 74% del volumen total calculado para el árbol individual. Es decir, que esta porción inferior del fuste proporcionalmente de menor longitud respecto de la porción superior que constituye la parte residual no comercial (alrededor del 26% del volumen total), es la porción con mayor volumen, y la más valiosa por disponer de madera de calidad, con máxima presencia de madera libre de nudos.

El modelo en que se basa la respuesta originada por la ecuación 8 (logarítmica), aquí referida para rodales mixtos de Misiones, se asemeja al mejor modelo comunicado por Crechi et al. (2004) en la



estimación del volumen con corteza de árboles individuales de *G. robusta*, integrantes de plantaciones puras. Cabe aclarar que la ecuación logarítmica determinada por estos autores corresponde al modelo propuesto por Prodan, menos parsimonioso que el modelo de Schumacher–Hall (1933), en el que las variables independientes (diámetro y altura) tienen doble transformación logarítmica: “ln” y “ln²”.

Los resultados logrados son coincidentes con las respuestas obtenidas en otros estudios forestales, respecto de la eficiencia de las funciones logarítmicas para la estimación de volumen, debido a su versatilidad y capacidad predictiva (Kawas, 1978; Tapia Barrera, 1998). En este contexto se destaca el modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933).

4. CONCLUSIONES

De los modelos analizados con datos dasométricos de *M. azedarach* y *G. robusta* se recomienda el modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933), ya que presentó los mejores estadísticos y el mayor ajuste.

De la aplicación del modelo logarítmico de Schumacher–Hall (1933) se ratifica que el uso de transformaciones del diámetro a la altura del pecho y la altura del fuste otorga predicciones precisas y confiables del volumen comercial del fuste de árboles individuales de *M. azedarach* y *G. robusta*, cuando ambas conforman una plantación mixta manejada.

El uso de las funciones aquí determinadas para la estimación del volumen debe limitarse a plantaciones mixtas de idéntica composición existentes en la provincia de Misiones, que se desarrollen en condiciones ecológicas similares donde se realizó el estudio y dentro del rango de diámetros utilizados en este trabajo. En este contexto, se resalta que las ecuaciones de volumen constituyen una herramienta importante para la estimación de los volúmenes reales de los árboles y de los rodales.

5. LITERATURA CITADA

- CANCINO, J. 2006. Dendrometría básica. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile. 163 p. Disponible en: http://www.sibudec.cl/ebook/UDEC_Dendrometria_Basica.pdf
- CAO, Q.V; BURKHART, H. Y MAX, T. 1980. Evaluation of two methods for cubic – volume prediction for lob lolly pine to any merchantable limit. *Forest Science* 26 (1): 71 – 80
- CRECHI, E.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.; HENNIG, A.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C. Y MALETTI, C. 2003. Tabla de volumen para *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. X Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. UNaM, Eldorado, Misiones. 10 p.
- CRECHI, E.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C. Y MALETTI, C. 2004. Ecuaciones de volúmenes para *Grevillea. robusta* en Misiones, Argentina. INTA Montecarlo. Inf.Téc. N° 56. 12 p.
- CRECHI, E.H.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.E.; HENNIG, A.; HAMPEL, H.; DOMECCQ, C. Y MALETTI, C. 2008. Desarrollo de una ecuación de volumen para *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). *Revista Forestal Yvirareta* Vol N°15, 14-21.
- DITLEVSEN, B. 1980. Interpretación estadística de los resultados de ensayos. En: *Mejora Genética de Árboles Forestales*. Publicación N° 20 de FAO: Montes. pp. 118 - 140. Roma, Italia.
- FINGER, C.A.G. 1992. Fundamentos de biometría florestal. Univ. Federal Santa María, Brasil. 269 p.
- HERNÁNDEZ, H.S. 2013. Tablas de Volúmenes para Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.
- KAWAS, N. 1978. Estimación de volumen cúbico por árbol con base muestral restringida, para especies forestales nativas. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. 98 p.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. *Mensura Forestal*. Agroamérica, San José de Costa Rica. 586 p.
- REED/CCAD – GIZ. 2014. Construcción de funciones de volumen. Nota técnica N° 4. Autores de la cartilla: Avilés P.E. y Araneda F.M. Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana. 51 p.
- TAPIA BARRERA, J.J. 1998. Ajuste de ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus teocote* Schl. y *Pinus pseudostrobus* L. en el Estado de Nuevo León. Universidad Autónoma de Nueva León; México. 142 p.



ANÁLISIS DE RELACIONES MORFOMÉTRICAS DE PLANTACIONES DE *Prosopis alba* EN SITIOS DE CALIDAD DEFICIENTE

Liza L. LÓPEZ¹, María C. CAÑETE², Víctor R. PEREZ²

RESUMEN

El objetivo del estudio fue hallar las ecuaciones que mejor describan las relaciones en los patrones morfométricos de *Prosopis alba* Griseb (algarrobo blanco) de plantaciones ubicadas en sitios de calidad deficiente de la provincia de Formosa. Para determinar la mejor función de ajuste entre la altura total y el diámetro normal, así como la ecuación más adecuada para describir la relación entre el diámetro normal y el diámetro de base, se trabajó con individuos de algarrobo blanco de forestaciones de entre 11 y 14,5 años de edad. Se probaron modelos lineales y no lineales evaluándose el ajuste a través de los estadísticos coeficiente de correlación, coeficiente de determinación ajustado, error estándar de estimación, error absoluto medio y cuadrado medio del error, así como mediante el análisis del gráfico de residuos estudentizados. El modelo más adecuado para modelar la altura en función del diámetro normal resultó ser el logarítmico. En la relación entre el diámetro normal y diámetro de base se observó respuestas satisfactorias en todos los modelos obteniéndose predicciones confiables, de los cuales se seleccionó el modelo lineal por tener una aplicación sencilla y práctica.

Palabras clave: relación hipsométrica, algarrobo, ajuste estadístico

1. INTRODUCCIÓN

Entre las especies forestales nativas de regiones semiáridas argentinas, *Prosopis alba* Griseb es considerada una de las más importantes, comercialmente es muy valorada por su madera, y el alto contenido en proteínas y azúcares de sus frutos, usados para alimento humano y forraje en poblaciones locales (Giménez et al., 2001).

Las investigaciones sobre algarrobo blanco implantado cobran mayor impulso desde la sanción de la Ley 25.080 (Argentina. Poder Legislativo, 1999) la cual incentiva la forestación de especies nativas y exóticas en todo el territorio nacional. Para que los planes de forestación tengan un impacto positivo es necesaria la aplicación de técnicas silviculturales; sin embargo, uno de los problemas básicos que se presenta es el desconocimiento del comportamiento y producción del algarrobo blanco bajo diferentes condiciones de sitio, para lo cual es necesario avanzar en el conocimiento de la silvicultura de esta especie (Pérez et al., 2011).

Las relaciones morfométricas permiten describir y caracterizar las dimensiones de los árboles o rodales sin el conocimiento previo de la edad y tienen utilidad en el manejo silvicultural, monitoreos forestales y productividad. Una relación hipsométrica describe la relación funcional entre las alturas y los diámetros de árboles de una masa forestal. Resulta una herramienta de gran utilidad en manejo forestal, ya que permite estimar alturas a partir de los datos de diámetro, cuya medición resulta más rápida y económica que la de aquella (Crechi et al., 1992). A su vez, el diámetro de base puede servir como referencia cuando las mediciones del diámetro normal y la altura del árbol no se pueden realizar (Martínez López et al., 2014).

La descripción de la arquitectura del árbol a través de diferentes parámetros ofrece la posibilidad de caracterizar árboles y rodales, útiles para la planificación y gestión de los bosques como para la investigación (Arias, 2005). La generación de información morfométrica sobre *P. alba* favorecerá su

¹ Estudiante de Ing. Ftal. Becaria EVC 2020. Facultad de Recursos Naturales, UNaF. Av. Gutnisky 3200, Formosa. Correo: lizal2120@gmail.com

² Docentes de Ingeniería Forestal. Facultad Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa



domesticación, uso y conservación (Cisneros et al., 2017). En este contexto, el objetivo de la presente es aportar información sobre las relaciones en los patrones morfométricos de *P. alba* (algarrobo blanco) de plantaciones ubicados en sitios de calidad deficiente dentro de la provincia de Formosa, analizando el ajuste de curvas de altura en función del diámetro y curvas de diámetro normal en función del diámetro de base obtenidos de modelos recomendados por la bibliografía especializada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un estudio exploratorio. Los datos forestales proceden de parcelas de monitoreo permanente (PMP), instaladas en forestaciones con restricciones edáficas (escasa profundidad efectiva, textura arcillosa, deficiente drenaje), localizadas en jurisdicción de Formosa (edad 14,5 años, densidad inicial 500 plantas.ha⁻¹), Tres Lagunas (edad 13 años, densidad inicial 625 plantas.ha⁻¹), Boedo (edad 12 años, densidad inicial 556 plantas.ha⁻¹) Laguna Gallo (edad 12 años, densidad inicial 772 plantas.ha⁻¹) y Riacho He Hé (edad 11 años, densidad inicial 625 plantas.ha⁻¹), todas en la zona este, húmeda (1 200 a 1 400 mm.año⁻¹) de la provincia de Formosa. Con anterioridad al presente estudio dichas plantaciones fueron objeto de podas y raleos forestales, alcanzándose una altura de poda aproximada entre 1,50 a 2,00 m.

Se utilizaron registros de altura total (h), diámetro normal (d), diámetro de base (db). En las mediciones se utilizó cinta dendrométrica y vara telescópica graduada. Los valores mínimos y máximos de los mismos se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores mínimos y máximos de diámetro normal (d), diámetro de base (db) y altura total (h) de 187 árboles de algarrobo blanco. Formosa. Argentina.

Variable	Mínimo	Máximo
d (cm)	10,0	27,6
db (cm)	12,2	31,5
h (m)	3,97	9,07

A partir de la base de datos, respecto de la relación hipsométrica fueron ajustados los siguientes modelos matemáticos:

- 1) $h = b_0 + b_1 * d$ lineal simple
- 2) $h = b_0 * d^{b_1}$ potencial
- 3) $h = b_0 + b_1 * d^2$ parábola incompleta
- 4) $h = b_0 + b_1 * \ln d$ logarítmico (Henriksen)
- 5) $h = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2$ polinomio de 2° grado
- 6) $h = b_0 * \exp(b_1 * d)$ exponencial
- 7) $h = [1 / (b_0 + b_1 * (1 / d))]^{b_2} + 1,3$ Peterson

Los modelos funcionales probados entre el diámetro de base y el diámetro normal fueron: lineal simple, potencial, polinomial y logarítmica (García Cuevas et al., 2017).

Las ecuaciones y los estadísticos utilizados para evaluar la calidad del ajuste están consignados en la información tabulada presentada en Resultados. En dicha información tabulada se usan las siguientes siglas: h = altura total del árbol (m); d = diámetro normal (cm); db = diámetro de base (cm); b₀, b₁, b₂ = coeficientes de los modelos; ln = logaritmo natural; coeficiente de correlación de Pearson (r); coeficiente de determinación ajustado (R² ajust); error estándar de estimación (EE); error absoluto medio (EAM); cuadrado medio del error (CME); número de observaciones (n). Complementariamente se realizó el análisis del gráfico de residuos estudentizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información obtenida, se determinó la media, desviación estándar (D.E) y coeficiente de variación (CV) de cada parámetro dasométrico (Cuadro 2).



Cuadro 2. Parámetros dasométricos de los rodales estudiados.

Variable	n	Media	D. E	CV
d (cm)	187	17,07	3,46	17,1
h (m)	187	6,74	1,22	7,07
db (cm)	145	20,75	3,71	20,9

En el Cuadro 3 se exponen los coeficientes de las funciones ajustadas y los estadísticos de diagnóstico usados para probar la bondad de ajuste de los modelos utilizados, para la estimación de la altura en función del diámetro normal. Particularmente para esta especie, el coeficiente de determinación obtenido de la aplicación de los siete modelos es relativamente bajo, fluctuando entre 0,51 y 0,58 y el coeficiente de correlación de Pearson entre 0,72 y 0,77. Otras investigaciones forestales también indican valores bajos de R^2 ; por ejemplo, 0,56 para el modelo lineal simple aplicado a la misma especie y una correlación alta entre el diámetro y la altura superior a 0,70 (Cisneros et al., 2017). Asimismo, en bosques implantados de *Araucaria angustifolia* se obtuvieron valores de R^2 relativamente bajos (Crechi et al., 1992). Crechi et al. (1992) y Pérez et al. (2002) recomiendan no limitarse exclusivamente a los valores de los estadísticos para decidir si un ajuste es adecuado o no; consideran que con valores de R^2 no altos, como los referidos en esta comunicación, no implica que el modelo ajustado necesariamente sea deficiente.

Cuadro 3. Funciones y estadísticas de ajuste. Relación altura total (h)/diámetro normal (d)

Modelo	Función	r	R^2 ajust	EE%	EAM	CME	n
1) Lineal Simple	$h = 2,2189 + 0,265058 * d$	0,750	0,560	12,05	0,668	0,66	187
2) Potencial	$h = 1,0321 * d^{0,6632}$	0,756	0,569	11,92	0,655	0,65	187
3) Parábola Incompleta	$h = 4,5554 + 0,0072 * d^2$	0,721	0,517	12,61	0,716	0,72	187
4) Logarítmico	$h = -5,9351 + 4,5017 * \ln d$	0,762	0,579	11,78	0,634	0,63	187
5) Polinomio de 2° grado	$h = -1,3799 + 0,6930 * d - 0,0122 * d^2$	0,767	0,584	11,70	0,616	0,62	187
6) Exponencial	$h = 3,5884 * \exp(0,0365 * d)$	0,732	0,533	12,41	0,700	0,70	187
7) Peterson	$h = \frac{1}{(0,4100 + 2,6542 * (1/d)^3)} + 1,3$	0,763	0,580	11,77	0,636	0,63	187

De los modelos examinados y tomando en consideración los criterios para la selección del mejor modelo tales como la distribución de residuales, el coeficiente de determinación y el cuadrado medio del error, los modelos de mejores desempeños fueron el 4 (logarítmico), 5 (polinomio de 2° grado) y 7 (Peterson), con resultados de ajuste muy similares, sin diferenciarse estadísticamente, de modo que cualquiera podría utilizarse. En este contexto, se seleccionó a la expresión matemática del modelo 4, que cumple con los supuestos del análisis de regresión y resulta la más conveniente para la estimación de la altura total de árboles individuales en función del diámetro a la altura del pecho, pues tiene la ventaja de ser el modelo más parsimonioso.

Con respecto al comportamiento de los residuales se comprobó que el ámbito de variación entre el valor real y el valor estimado por el modelo fluctúa en el intervalo “promedio ± 3 desvío estándar” (Gráfico 1, representa al modelo 4, seleccionado y recomendado), sin presencia de tendencias.

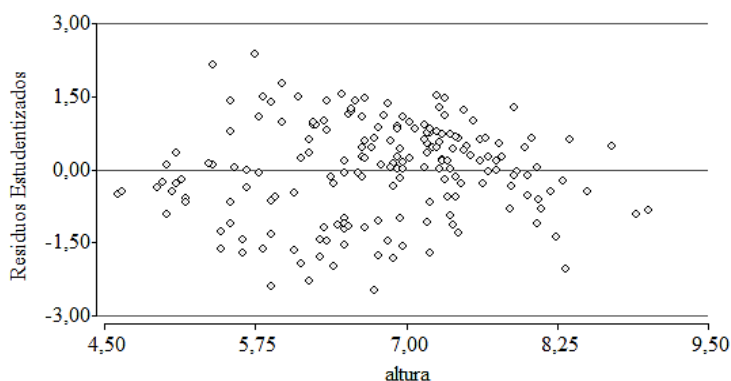


Gráfico 1. Distribución de residuales para el Modelo logarítmico



En el Cuadro 4 se muestra la estimación de los parámetros de diversos modelos, así como sus criterios de bondad de ajuste, para la estimación del diámetro normal en función del diámetro de base. Con base en el nivel de significancia de los parámetros de las ecuaciones, se puede observar respuestas satisfactorias en todos los modelos, aunque en el modelo logarítmico el desempeño es levemente inferior. El modelo lineal simple (1), el polinómico de 2° grado (3) y el potencial (4) son válidos para predecir el diámetro normal en función del diámetro de base. Se evidencia una relación positiva alta ya que más del 93% de la variación total del diámetro normal de los árboles individuales es explicada por el modelo de regresión. Resultados similares se obtuvieron en el análisis de la relación funcional para *Quercus laurina* donde se concluyó que la estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón puede realizarse de forma confiable por medio de una regresión lineal simple (Martínez López et al., 2014).

De todos los modelos de mejor desempeño se seleccionó a la expresión matemática del modelo 1, para la estimación del diámetro normal de árboles individuales en función del diámetro basal, dada la simplicidad en su aplicación, cumpliendo con los supuestos del análisis de regresión. El análisis de las variables estudiadas demuestra la existencia de un alto nivel de correlación entre las mismas.

Cuadro 4. Funciones y estadísticas de ajuste. Relación diámetro normal (d) / diámetro basal (db)

Modelo	Función	r	R ² Ajust	EE%	EAM	CME	n
1) Lineal simple	$d = -0,39132 + 0,878425 \cdot db$	0,967	0,935	4,81	0,665	0,73	145
2) Logarítmico	$d = -35,8723 + 17,8056 \cdot \ln(db)$	0,963	0,928	5,07	0,720	0,81	145
3) Polinomio de 2° grado	$d = -2,9476 + 1,1266 \cdot db - 0,0058 \cdot db^2$	0,968	0,936	4,77	0,660	0,72	145
4) Potencial	$d = 0,818035 \cdot db^{1,0163}$	0,967	0,935	4,81	0,668	0,73	145

En el Gráfico 2 se exponen los valores predichos del diámetro normal contra los residuos estudentizados obtenidos con el modelo lineal simple. La distribución de los errores no sigue un patrón definido, por lo que se asume que el modelo no presenta problemas de heterocedasticidad.

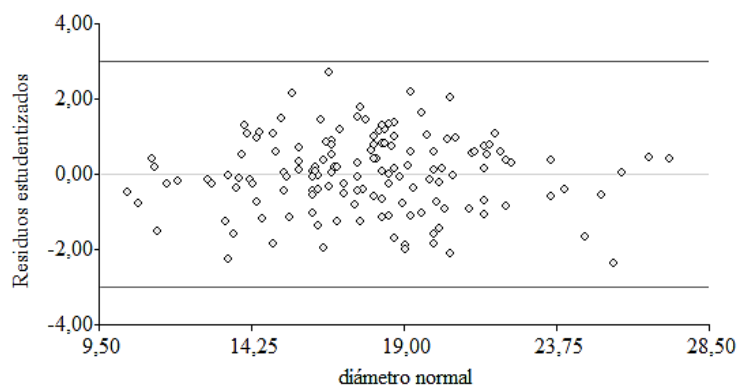


Gráfico 2. Distribución de residuales para el modelo lineal simple

4. CONCLUSIONES

Para la relación del diámetro normal y la altura total, el modelo logarítmico seleccionado resultó el más idóneo para modelar la altura en función del diámetro, dada la simplicidad de su determinación e interpretación en comparación a la función polinómica que también presenta un ajuste similar.

Con el modelo logarítmico la predicción de valores de altura en función únicamente del diámetro normal, para árboles individuales pertenecientes a plantaciones localizadas en sitios con calidad edáfica deficiente, presenta ciertas limitaciones para una estimación confiable dado que solo el 58 % de la variación total de la altura total de los árboles individuales fue explicada por el modelo de regresión.

Si bien diversos modelos describen adecuadamente la relación entre las variables de diámetro normal y diámetro de base, el modelo lineal resulta el más apropiado por ser consistente estadísticamente, permite obtener predicciones confiables y tener una aplicación sencilla y práctica.



5. LITERATURA CITADA

- ARGENTINA. Poder Legislativo. 1999. Ley N° 25.080. Ley de inversiones para bosques cultivados. 15/01/1999.
- ARIAS, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica). 2 (5), 13 p.
- CISNEROS, A. B.; MOGLIA, J. C. y ÁLVAREZ, J. A. 2019. Relaciones alométricas en árboles individuales de *Prosopis alba*, en poblaciones naturales de la Región Chaqueña, Argentina. Investigaciones en Facultad de Ingeniería del NOA, 3, 552-559. ISSN 1853-6662.
- CISNEROS, A. B.; MOGLIA, J. C. y ÁLVAREZ, J. A. 2019. Relaciones alométricas en árboles individuales de *Prosopis alba*, en poblaciones naturales de la Región Chaqueña, Argentina. Investigaciones en Facultad de Ingeniería del NOA, 3, 552-559. ISSN 1853-6662.
- CRECHI, E. H.; FRIELD, R. A. y FERNÁNDEZ R. A. 1982. La relación hipsométrica a través del tiempo en *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Revista Yvyrareta N°3, pp. 86 - 92. UNaM. Argentina.
- GARCÍA CUEVAS, X.; HERNÁNDEZ RAMOS, J.; GARCÍA MAGAÑA, J.; HERNÁNDEZ RAMOS, A.; HERRERA ÁVILA, V.; GONZÁLEZ PERALTA, A. y GARFIAS MOTA, E. J. 2017. Predicción de diámetro normal, altura y volumen de *Abies religiosa* a partir del diámetro del tocón. Madera y Bosques vol. 23, núm. 3, pp. 61-70. México
- GIMÉNEZ, A. M.; RÍOS, N.; MOGLIA, J. G.; HERNÁNDEZ, P. y BRAVO, S. 2001. Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae. Forest. Venez. 45(2): 175-183.
- JUÁREZ DE GALÍNDEZ, M.; PECE, M.G.; GAILLARD DE BENÍTEZ, C.; SANGUEDOLCE, J.; MARIOT, V. y MAZZUCO, R. 2007. Ecuaciones altura-diámetro en *Prosopis nigra* (Griseb) Hieron (algarrobo negro), Santiago del Estero Argentina. Foresta Veracruzana, vol. 9, núm. 1, 9-14.
- MARTÍNEZ LÓPEZ, J. y A. ACOSTA RAMOS. 2014. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. Madera y Bosques 20(1):59-70.
- PÉREZ, V. R.; CAÑETE, M. C.; ATANASIO, M. y PERNOCHI, L. 2002. Evaluación de modelos para ajustar relaciones hipsométricas en *Grevillea Robusta* A. Cunn. V Jornadas de Ciencia y Tecnología Universidad Nacional de Formosa.
- PÉREZ, V., VICENTINI, G., OCAMPO, L. y VEGA, C. 2011. Evaluación preliminar de la calidad de sitio para *Prosopis alba* Griseb., mediante la utilización de criterios dasométricos. Memorias del 1° Congreso Forestal Chaco Sudamericano. Producción y Sustentabilidad. 11 p. ISSN 1853-5755



PARÁMETROS DASOMÉTRICOS DE PLANTACIONES DE *Prosopis alba* Griseb. EN SITIOS CON RESTRICCIONES EDÁFICAS

Leonardo ROJAS¹, María C. CAÑETE², Víctor R. PÉREZ²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar diferentes plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. que se encuentran en sitios con limitaciones edáficas. El estudio fue realizado en 6 forestaciones de entre 10 y 15 años de edad, ubicadas en la zona este de la provincia de Formosa. Se establecieron parcelas de monitoreo permanente y se registraron datos de DAP (diámetro normal), HT (altura total) y HF (altura de fuste). Se compararon parámetros dasométricos de cada rodal, como ser diámetro normal medio, altura total media, altura de fuste media, área basal, densidad al momento del estudio, volumen de fuste y volumen total. En las distintas plantaciones se observaron respuestas similares de baja producción en volumen de madera; reducida cantidad de productos maderables de calidad debido a las restricciones edáficas como también a la falta o deficiente aplicación de tratamientos silviculturales. Considerando las bajas tasas de crecimiento de estos rodales, el hipotético turno de aprovechamiento se encontraría alrededor de los 50 años.

Palabras clave: *rodal, crecimiento, producción*

1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2005 comenzó el cultivo comercial de *Prosopis alba* Griseb. (algarrobo blanco) en la provincia de Formosa en diversos ambientes. El comportamiento, la estructura y crecimiento de las especies forestales cultivadas en forma de macizo de árboles es función de varios factores, como ser la calidad genética del material de plantación, densidad de plantación, manejo del rodal y fundamentalmente, la calidad del sitio. La producción y la calidad de los productos obtenidos en las plantaciones es definido, en gran parte, por la calidad de sitio, como así también por los tratamientos silvícolas intermedios. La calidad de sitio se puede estimar mediante la máxima cosecha de madera que la plantación produce en un tiempo determinado y una manera indirecta de realizarlo es a través de la altura media de los árboles dominantes (Cozzo, 1976; Daniel et al., 1982). El objetivo del trabajo es aportar información dasométrica y silvícola relacionada a la estructura y productividad de seis forestaciones ubicadas en la misma clase de calidad de sitio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos forestales proceden de 12 parcelas de monitoreo permanente (PMP); considerándose 2 PMP por cada plantación. El rango de superficie de las plantaciones es de 5 a 12 hectáreas, todas ubicadas en la zona este, húmeda (1 200 a 1 400 mm.año⁻¹) de la provincia de Formosa. En el Cuadro 1 se informa la ubicación geográfica de las seis forestaciones evaluadas.

Las restricciones edáficas son esencialmente físicas: escasa profundidad efectiva (menor a 1 m), textura dominada por material arcilloso, deficiente permeabilidad y drenaje.

Las variables evaluadas se consignan en información tabulada presentada en Resultados, usándose las siguientes siglas: DAP (diámetro normal medio del rodal), Ni y Na (densidad de plantación inicial y al momento de control), AB (área basal del rodal), HT (altura total media del rodal), HF (altura de fuste media del rodal), VF (volumen de fuste del rodal) y VT (volumen total medio del rodal). El diámetro normal se

¹ Becario EVC-2019. Correo electrónico: leonardorojas172@gmail.com

² Laboratorio de Silvicultura. Facultad Recursos Naturales. Universidad Nacional de Formosa.



midió usando cinta forestal y las alturas con vara telescópica graduada.

Para la estimación de los volúmenes, total y de fuste, se utilizaron las funciones consignadas por Chávez (2018) ($\ln VT = -0,10167 + 2,31612 * \ln DN + 0,90174 * \ln HT$) y Pérez et al. (2020) ($\ln VF = -0,108013 + 1,93357 * \ln DN + 0,779932 * \ln HF$; y $\ln VF = 0,608775 + 2,17585 * \ln DB$) para plantaciones de la provincia de Formosa.

Cuadro 1. Ubicación de plantaciones controladas.

Plantación	Ubicación geográfica	
Mariano Boedo	26° 06'07.90"S	58° 22'11.75"O
Formosa	26° 15'41.65"S	58° 17'51.24"O
Pilagá	25° 31'04.61"S	58° 57'05.89"O
Villa 213	26° 11'29.64"S	59° 17'49.75"O
Tres Lagunas I	25° 11'26.33"S	58° 30'19.95"O
Tres Lagunas II	25° 12'20.80"S	58° 28'25.80"O

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la clasificación de sitios formulada por Vicentini (2020), para plantaciones de 9 años de edad, la plantación de Formosa con incremento medio anual de la altura media de los dominantes (IMA HD) de 0,45 m/año; la forestación de Mariano Boedo con IMA HD de 0,51 m/año; la primera de Tres Lagunas con IMA HD de 0,55 m/año y la segunda ubicada en el misma localidad con un IMA HD de 0,57 m/año, todas se ubican en la Clase V, la de peor calidad. En tanto, en Villa 213 con IMA HD 0,64 m/año y Pilagá con IMA HD de 0,66 m/año, ambas se ubica en la clase IV. De acuerdo a esta clasificación en el sitio de mejor calidad (Clase I) el promedio del IMA HD es igual a 1,15 m/año.

En el Cuadro 2 se observan los resultados de los raleos realizados en las distintas plantaciones, excepto en la plantación de Villa 213 donde no se realizó ningún tipo de raleo. En ninguna de ellas el raleo practicado fue de carácter comercial. En el Cuadro 3 se aporta información dasométrica sobre la estructura y productividad de las seis forestaciones.

Cuadro 2. Valores promedios de cortas intermedias (raleos) realizados en los 5 rodales.

Plantación	DAP cm	N pl.ha ⁻¹	AB m ² .ha ⁻¹	VF m ³ .ha ⁻¹
Tres Lagunas I	10,9	14	0,148	0,201
Mariano Boedo	5,1	86	0,206	0,486
Tres Lagunas II	11,0	182	2,068	2,830
Pilagá	12,3	14	0,163	0,380
Formosa	7,3	13	0,175	0,235

Cuadro 3. Resumen de los parámetros dasométricos de las plantaciones evaluadas

Plantación	Edad años	Ni pl.ha ⁻¹	Na pl.ha ⁻¹	DAP cm	HF m	HT m	AB m ² .ha ⁻¹	VT m ³ .ha ⁻¹	VF m ³ .ha ⁻¹
Mariano Boedo	12	556	519	12,8	1,78	4,98	5,99	16,86	12,59
Formosa	14	500	493	13,3	1,72	5,30	6,88	20,21	13,50
Pilagá	10	625	516	13,5	1,76	5,62	7,72	23,91	15,38
Villa 213	11	625	584	12,0	1,92	6,20	7,06	23,22	15,20
Tres Lagunas I	14	625	507	15,3	2,56	7,15	9,94	38,06	26,70
Tres Lagunas II	15	625	564	17,3	1,91	7,63	12,74	49,69	21,75

En los Gráficos 1 al 5 se representan los resultados relacionados a los parámetros dasométricos, que permiten conocer aspectos estructurales relevantes del rodal, como la distribución de la densidad por clases diamétricas, la estratificación vertical del vuelo del rodal según la posición sociológica de los árboles y el grado de espesura en el que se encuentran las plantaciones.

En el Gráfico 1 sobresale la alta densidad actual de todos los rodales lo que refleja la ausencia de la práctica de raleo más intensa que hubiera sido conveniente para mejorar y homogeneizar la estructura.



Por otro lado, se destacan las forestaciones de Villa 213, Formosa, M. Boedo y Pilagá por presentar la mayor parte de la densidad con ejemplares \leq a 16 cm de DAP, tamaños no aptos para aserraderos o carpinterías locales. Las plantaciones de Tres Lagunas son las únicas que tienen una buena cantidad de árboles mayores a 16 cm de diámetro.

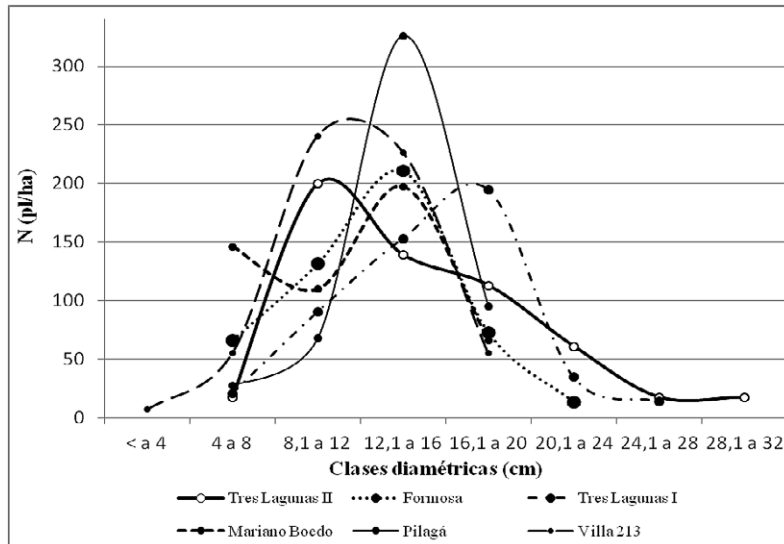


Gráfico 1. Distribución de la densidad por clase diamétrica

El parámetro altura, al que se refiere el Grafico 2, es un indicativo comúnmente utilizado para determinar la productividad de un sitio (Cozzo, 1996). Se observa poco desarrollo en altura de los individuos pertenecientes a los dominantes y codominantes (se ubican en las dos clases diamétricas superiores). Las plantaciones de Tres Lagunas I y II (14 y 15 años de edad) registran los mayores promedios de altura en todas las clases diamétricas; las plantaciones ubicadas en Mariano Boedo y Formosa registran los promedios más bajos de altura en todas las clases dominantes.

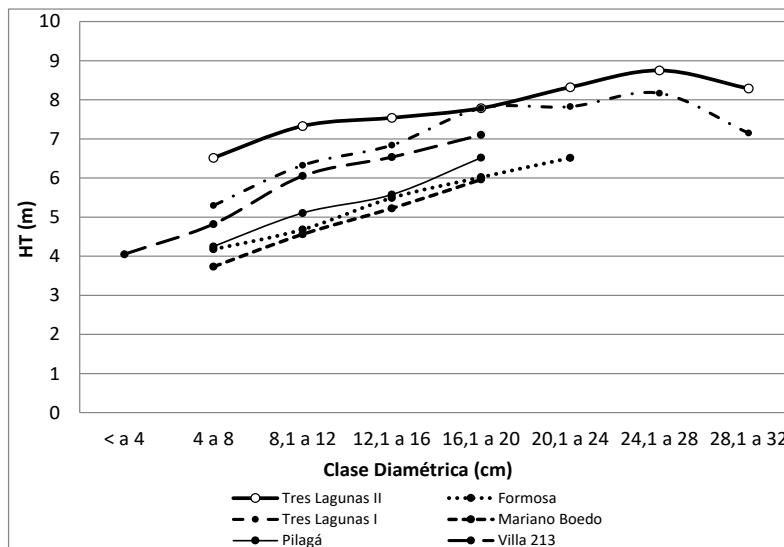


Gráfico 2. Distribución de altura total por clase diamétrica

El rango de variación altura total en cada clase de calidad de sitio está asociado a cambios en las características de los suelos. En los sitios con más altas restricciones edáficas (plantaciones de Boedo y Formosa) se registran las peores respuestas de crecimiento de la variable altura total.

En el Grafico 3 la representación de las plantaciones de Tres Lagunas, I y II, son las que registraron mayor cobertura (área basal 9,93 y 12,74 $m^2 \cdot ha^{-1}$, respectivamente). Las restantes plantaciones tienen área basal inferior a 8 $m^2 \cdot ha^{-1}$.

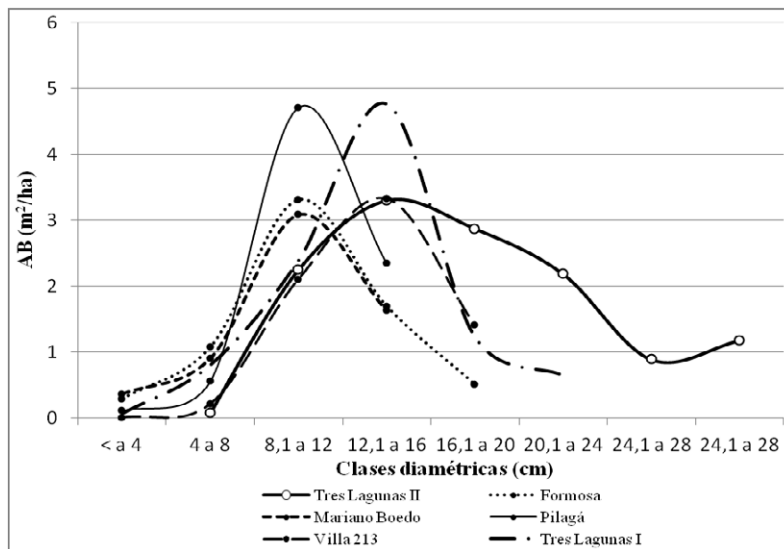


Gráfico 3. Distribución del área basal por clase diamétrica

Las plantaciones de Algarrobos debido a que están conformados por árboles de escasa altura total y altura de fuste, y que requieren de una gran copa para desarrollarse adecuadamente (lo que obliga a tener baja densidad cuando los árboles superan los 20 cm de DAP), siempre tienen escasa productividad maderera en comparación con otras especies utilizadas en forestaciones comerciales como ser eucaliptos, pinos, sauces, álamos (Larguía, 1976; INTA, 1996). Esta característica se acentúa en sitios de deficiente calidad como se observa en las representaciones de los Gráfico 4 y 5.

El volumen de fuste de las plantaciones de Algarrobo está en función directa de los tratamientos de podas que hayan recibido. Los rodales aquí referidos tienen ejecutadas la primera poda sistemática (hasta 1 m de altura, aproximadamente) y parcialmente la segunda poda (hasta alrededor de 1,60 m).

El incremento medio anual de VF y VT de las plantaciones evaluadas está por debajo de 3 y 5 m³.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente. En plantaciones de buena calidad (clases I y II) los valores de productividad pueden duplicarse (Pérez et al., 2014; Atanasio et al., 2018; Kees et al., 2018). Los bajos valores de productividad referidos asociados a una baja calidad de los productos debido al ambiente restrictivo y deficientes tratamientos silvícolas intermedios aplicados, hacen que la producción maderera de estas plantaciones sea de muy dudosa rentabilidad.

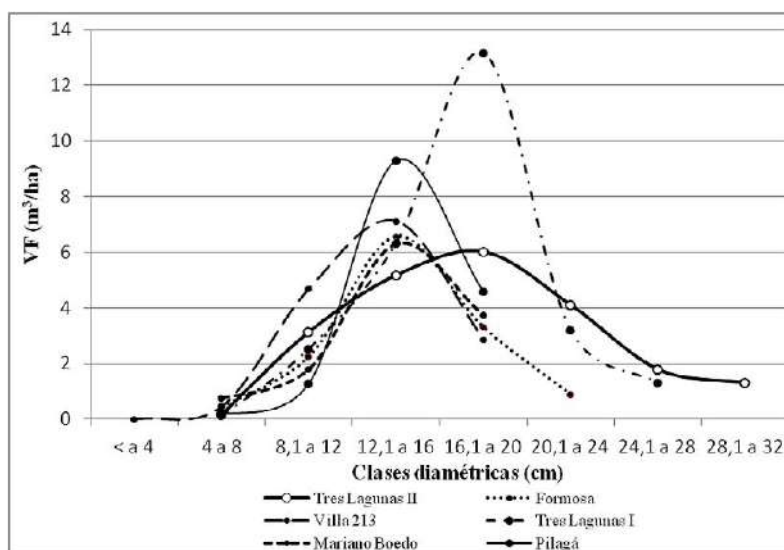


Gráfico 4. Distribución de volumen de fuste por clase diamétrica

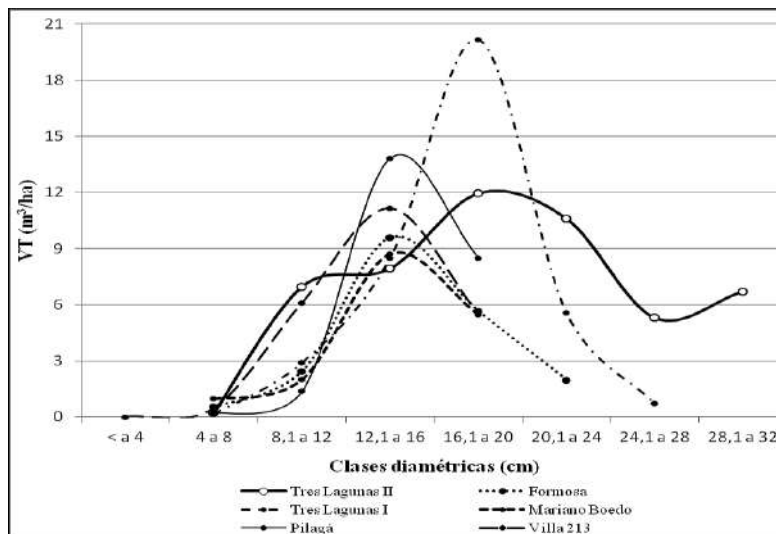


Gráfico 5. Distribución de volumen de total por clase diamétrica

4. CONCLUSIONES

Las variables dasométricas resultan útiles para entender y explicar el potencial productivo de la especie *Prosopis alba* teniendo en cuenta la calidad del sitio y de esta manera poder prever las producciones intermedias y al final del turno.

En sitios con fuertes restricciones para el buen desarrollo de esta especie, los parámetros dasométricos actuales permiten proyectar que la cantidad y calidad de la producción final no será la esperada para obtener adecuados beneficios económicos como retorno de la inversión. En este contexto, se resalta que la obtención de buenas respuestas de crecimiento y productividad de las plantaciones forestales, incluyendo a las especies nativas como los Algarrobos, depende en gran medida de la correcta elección del sitio.

5. LITERATURA CITADA

- ATANASIO, M.A.; PERNOCHI, A.L.S. y CHIOSSONE, J.G. 2018. Productividad maderera y forrajera de un sistema silvopastoril de *Prosopis alba* de variable densidad de árboles y radiación. IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, pp. 98-106. Argentina.
- CHÁVEZ, L.M. 2018. Determinación de funciones de volumen de árboles individuales para plantaciones de algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) en la Provincia de Formosa. Tesis de grado, Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Formosa. 68 p.
- COZZO, D. 1976. Tecnología de la Forestación en la Argentina y América Latina. Capítulo IX. Editorial Hemisferio Sur. 610 p.
- DANIEL, P.W.; HELMS, U.E. y BAKER, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. Segunda Edición. Capítulo 11: "Evaluación de la Calidad del Sitio". pp: 231 – 252.
- INTA. 1996. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Concordia, Entre Ríos. Capítulo 5 "Elección del Sitio de Plantación". pp: 22 – 26.
- KEES, S.M.; FERRERE, P.; LUPI, A.M.; MICHELA, J.F. y SKOKO, J.J. 2018. Producción y crecimiento de las plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. en la provincia Chaco. Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, 8 p.
- LARGUÍA, A. 1976. Calidad de Sitio para *Pinus elliotii* en Misiones. Boletín N° 9. Revista de la Asociación de Plantadores Forestales de Misiones. pp: 91 – 95.
- PEREZ, V.R.; VICENTINI, G.M. y RHINER, G.R. 2014. Caracterización edafológica y silvicultural de forestaciones de *Prosopis alba* de la provincia de Formosa. Revista Producción Forestal, N° 9, 28:32, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Nación.
- PEREZ, V.R.; CASTRO, R.M.; RODRÍGUEZ, C.D; ARCE, L.; MITRE, J. 2020. Funciones de volumen de fuste para árboles individuales de plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. de Formosa y Santiago del Estero. Revista Forestal Yvyrareta 28: 22-28.
- VICENTINI, G.M. 2020. Aptitud de suelos en forestaciones de *Prosopis alba* Griseb. de la Provincia de Formosa, Argentina. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.



APLICACIÓN DEL LIDAR SATELITAL GEDI A LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE NATIVO EN EL NORTE DE MISIONES

Eduardo HILDT¹, Andrés LESZCZUK², Damian LORAN³, Juan Ignacio MARTINEZ⁴, Martín ORONA⁵

RESUMEN

El municipio de Comandante Andresito contiene zonas de Selva Paranaense ubicadas en áreas naturales protegidas y también zonas de bosques privados expuestos a tres décadas de manejo y extracción por parte de las comunidades rurales. La misión GEDI proporciona datos de un sensor LiDAR satelital de huella larga, con cobertura parcial en la región de estudio. El objetivo de este estudio fue evaluar las características del bosque nativo a partir de la información generada por GEDI. Además, se comparó la forma en que variaron los distintos indicadores de la estructura vertical del bosque entre las zonas protegidas dentro de parques provinciales y las zonas de bosques rurales. Los resultados indicaron que bosques ubicados en zonas rurales y expuestos a procesos de degradación poseen una altura total y una cobertura de copas significativamente inferior a aquellas zonas de bosque ubicadas en áreas naturales protegidas. Este estudio demuestra que el LiDAR satelital GEDI es una fuente de información útil para el estudio de la estructura vertical del bosque en zonas extensas, con la ventaja de ser una fuente de datos de libre acceso.

Palabras clave: *sensores activos, parches, degradación, diversidad estructural.*

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones conforma el principal bloque continuo remanente del Bosque Atlántico del Alto Paraná, representando aproximadamente un 50% de su extensión original, mientras que Paraguay y Brasil solo conservan el 10% y el 3% respectivamente (Placi y Di Bitetti, 2006). Desde el año 2000, Misiones ha perdido un 9,9% de su superficie de bosques nativos (MapBiomass, 2021). Debido a que Misiones tiene una gran superficie de áreas protegidas, una parte significativa de la degradación del bosque se concentra en las propiedades privadas. Estos bosques rurales, bajo la presión de las comunidades locales, son gradualmente convertidos a usos agrícolas, ganaderos y forestales. Por otra parte, los bosques que no sufren un cambio de uso, se ven degradados por la corta selectiva de los árboles más gruesos para la producción de madera y por la extracción de leña.

En el norte de Misiones, el municipio de Comandante Andresito representa una situación de análisis ideal, ya que integra sectores de bosque protegido por los Parques Provinciales Urugua-í y Guardaparque Horacio Foerster, junto a un gran número de parches de bosques privados distribuidos dentro de una matriz dominada por cultivos agrícolas, sistemas ganaderos y agro-forestales. Resulta interesante evaluar las diferencias que pueden presentar la estructura del Bosque Atlántico de esta zona, comparando áreas bajo un régimen de protección y otras áreas que han estado expuestas a tres décadas de degradación debido a la actividad humana.

La teledetección ofrece diferentes enfoques para analizar la evolución de las áreas con bosques. Los sensores satelitales pasivos permiten obtener imágenes multiespectrales de diferente resolución aplicables a la detección de las coberturas existentes en el terreno y los cambios en el uso de la tierra. En la región el antecedente más reciente está representado por el proyecto MapBiomass Trinacional,

1 CONICET – UNaM. Contacto: eduardohildt@gmail.com

2 CONICET. Contacto: leszczukandresalejandro@gmail.com

3 UNaM. Contacto: lorandamian@yahoo.com.ar

4 Alumno Ingeniería Forestal. Contacto: juanmartinezgarro@gmail.com

5 UNaM. Contacto: martinoo_1988@hotmail.com.ar



que mapeó los cambios en las coberturas para toda la región del Bosque Atlántico entre 2000 y 2020, con una resolución espacial de 30 m/px a partir de imágenes de Landsat 5, 7 y 8 (MapBiomass, 2021). Sin embargo, las imágenes multispectrales no consiguen aportar suficiente detalle sobre la estructura vertical de los bosques. Por otra parte, los sensores satelitales activos LiDAR (*Light Detection and Ranging*) han sido diseñados como una herramienta de muestreo que aporte información sobre la altura de los bosques y la distribución vertical de la vegetación. El proyecto GEDI (*Global Ecosystem Dynamics Investigation*), instalado desde 2019 en la Estación Espacial Internacional, cuenta con emisores y receptores láser capaces de realizar un muestreo simultáneo en 8 transectas separadas cada 600 m, cubriendo en cada órbita un ancho de 4,2 km. A lo largo de cada transecta, separados cada 60 m, los pulsos LiDAR generan huellas de 25 m de diámetro, cubriendo un área de 491 m² cada una (GEDI, 2021). El análisis de la forma de la onda de la energía que retorna al satélite permite generar diferentes productos con información de interés forestal. El producto GEDI 2A ofrece los percentiles de la altura a la que se encuentra la vegetación con la que interaccionó la energía del pulso láser, aportando información sobre los distintos estratos de la vegetación. La altura a la que se acumula el 95% de la energía retornada al sensor es un buen indicador de la altura máxima del bosque (Dubayah et al., 2020a). Por otra parte, el producto GEDI 2B contiene indicadores elaborados para diferentes rangos de alturas a intervalos de 5 m, para el porcentaje de cobertura de copas, el índice de área de plantas (m²/m²), la densidad del área de plantas en volumen (m²/m³) y el índice de diversidad de la distribución vertical del follaje (Dubayah et al., 2020b).

Lo progreso de la misión GEDI permite contar con una herramienta de acceso libre y con gran potencial para generar información que de otra forma requeriría de extensos trabajos a campo o costosas campañas con equipos LiDAR aerotransportados. En Misiones el proyecto GEDI aún no ha logrado un nivel de cobertura total, habiendo áreas con ausencia de datos o con datos de baja calidad debido a la interferencia de las nubes durante el relevamiento. Este trabajo evaluó las características de las áreas de Bosque Atlántico ubicadas en el municipio de Comandante Andresito a partir de la información generada por GEDI. Además, se comparó la forma en que variaron los distintos indicadores de la estructura vertical del bosque entre las zonas protegidas dentro de parques provinciales y las zonas de bosques rurales expuestas a tres décadas de acción humana.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Este estudio fue realizado sobre toda la extensión del municipio de Comandante Andresito, ubicado en el departamento General Manuel Belgrano, al norte de la provincia de Misiones. El municipio cuenta con una superficie de 90.300 ha, que incluyen partes del Parque Provincial Uruguayí al sur y del Parque Provincial Guardaparque Horacio Foerster al este.

Clasificación de los bosques: Para determinar las áreas que poseen cobertura de bosque nativo se empleó la clasificación realizada para el año 2020 por el proyecto MapBiomass Bosque Atlántico Trinacional (MapBiomass, 2021). Esta fue revisada con ayuda de una imagen Sentinel 2 para mejorar la precisión de los límites en los parches de bosques rurales y discriminar las áreas forestadas con latifoliadas. Las áreas cubiertas con bosque nativo fueron vectorizadas y clasificadas en dos grupos: **Bosque protegido** si forman parte de un Parque Provincial; **Bosque rural** si corresponden a propiedades privadas y están en una zona bajo producción agroforestal.

Origen y sistematización de los datos LiDAR: Se descargaron los productos GEDI_2A y GEDI_2B disponibles para el área de interés, accesibles desde el portal *EarthData* de la NASA (search.earthdata.nasa.gov). En total se recopiló información de 35 órbitas disponibles, comprendiendo el periodo abril/2019 a julio/2020. Se identificaron y eliminaron los datos con errores provocados por la presencia de nubes (Valencia, 2020). Luego, se descartaron aquellas huellas GEDI ubicadas fuera de áreas con cobertura de bosque. Debido a que la cobertura de puntos GEDI aún es parcial, algunas áreas del municipio no contaron con información de este sensor activo.

Para generar las unidades de muestreo del estudio, se creó una grilla con celdas de 2 km de lado. Dentro de cada celda se calculó la superficie total cubierta con bosque y se identificó la clase de bosque existente. Los puntos LiDAR ubicados dentro de la celda fueron promediados para obtener los valores



medios de las diferentes variables provistas por GEDI. Para garantizar que estas muestras sean representativas, solo se consideraron aquellas celdas que contuvieran al menos 10 datos LiDAR ubicados sobre una misma clase de bosque.

VARIABLES DE ANÁLISIS: A partir de la información contenida en los productos GEDI analizados, se eligieron las variables de estudio (**Tabla 1**). Se verificó que cumplan con el supuesto de normalidad requerido por los modelos lineales y que no presenten multicolinealidad.

Tabla 1. Características los datos evaluados.

Características de las muestras	Bosque Protegido	Bosque Rural
	x (sd)	x (sd)
Número de muestras (celdas)	38	66
Número de puntos GEDI por muestra	87 (SD: 56)	30 (SD: 15)
Superficie de bosque (ha)	286 ha (SD: 117 ha)	134 ha (SD: 58 ha)
Variables contenidas en los datos GEDI (Nombre y descripción)		
rh_75, rh_95: Alturas a las que se acumula el 75% y el 95% de la energía que retornó al sensor		
fhd_normal: Índice de la diversidad foliar en altura. Adimensional, con valores más altos en bosque con mayor desarrollo vertical.		
cover_z_0 a 5: Proporción del área cubierta por las copas (%) desde el dosel y hasta una cierta altura. Cada subíndice representa un estrato de 5 m de altura. Ej: cover_z_3: cobertura acumulada por sobre los 15 m.		
pai_z_0 a 5: Distribución vertical del Índice de Área Plantas (m^2/m^2), en estratos de 5 m.		
pavd_z_0 a 5: Distribución vertical de la densidad del Área de Plantas en Volumen (m^2/m^3), en estratos de 5 m.		

Análisis estadístico: Se recurrió al análisis multivariado para probar la hipótesis de que la información disponible en las distintas variables generadas por el LiDAR de huella larga GEDI puede ser útil para caracterizar el nivel de degradación de los bosques rurales. El primer lugar se realizaron las pruebas de supuestos necesarias. El supuesto de normalidad se evaluó por medio de la prueba de Shapiro-Wilk para las variables individuales. Las variables que describen la distribución vertical de la cobertura de copas y de los índices de área y densidad de volumen de plantas presentaron ausencia de normalidad a partir de los 5 metros de altura, siendo excluidas del análisis multivariado. Posteriormente se realizó un análisis de correlación de Pearson, eligiendo para el análisis aquellas variables que no presentaran un elevado coeficiente de correlación con otras variables (ausencia de multicolinealidad). También se verificaron los supuestos de homogeneidad de la varianza y la covarianza. Finalmente, las variables elegidas para el análisis multivariado fueron: rh_75, rh_95, cover_z_0, cover_z_1, pavd_z_0, pavd_z_1, fhd_normal. Como prueba estadística se realizó un Análisis de la Varianza Multivariado (MANOVA), acompañado por la prueba de medias de Games-Howell.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza multivariado (MANOVA) rechazó la hipótesis nula que supone que, para el conjunto de variables analizadas, los bosques ubicados en áreas protegidas y los bosques rurales pertenecen a una misma población. En cambio, se detectaron diferencias significativas entre ambas clases de bosques (**Tabla 2**). Al realizar una prueba de medias de Games-Howell para cada variable analizada, se comprobó que los bosques rurales tienen una altura media (asociada al valor rh_95) 3,36 m menor que los bosques ubicados en áreas protegidas (**Figura 1A**). Además, los signos de degradación en los bosques rurales también se reflejaron en valores significativamente menores para la cobertura total de copas (cover_z_0) y la cobertura de copas acumulada por sobre los primeros cinco metros de altura (cover_z_1) (**Figura 1B**). También el índice de diversidad foliar en altura (fhd_normal) presentó valores significativamente menores en los bosques rurales (**Figura 1D**), un indicador de su menor desarrollo vertical debido al aprovechamiento de los árboles más grandes.



Tabla 2. Análisis de varianza multivariado y pruebas de medias para cada variable individual.

Prueba MANOVA de Tipo II						
Factor	gl	Estadístico Pillai	Aprox. F	Num gl	Den gl	Pr(>F)
Tipo de bosque	1	0,49446	13,414	7	96	<0,0001 ***

Variable	Diferencia media Bosque protegido – Bosque rural	Estadístico Games-Howell	p.adj
rh_75	-2,88	8,48	<0,0001 ***
rh_95	-3,36	9,74	<0,0001 ***
cover_z ₀	-0,081	5,01	<0,0001 ***
cover_z ₁	-0,100	6,98	<0,0001 ***
pavd_z ₀	-0,00173	0,273	0,786
pavd_z ₁	-0,00533	1,02	0,313
fhd_normal	-0,219	10	<0,0001 ***

En cambio, el área de plantas en volumen (pavd) no mostró diferencias significativas en sus valores acumulados totales y acumulados hasta los 5 m de altura (**Figura 1C**). Sin embargo, si se analizan los valores de esta variable a alturas superiores a las incluidas en el MANOVA (excluidas debido a la falta de normalidad en los datos), se observa que a partir de los 10 m de altura la densidad del área de plantas en volumen disminuye fuertemente en los bosques rurales, debido al menor desarrollo en altura que estos presentan (**Figura 2B**). Por otra parte, en la **Figura 2A** se observa como la cobertura de copas acumulada desde el techo del dosel, disminuye en los bosques rurales fuertemente a partir de los 10 m de altura (cover_z₂).

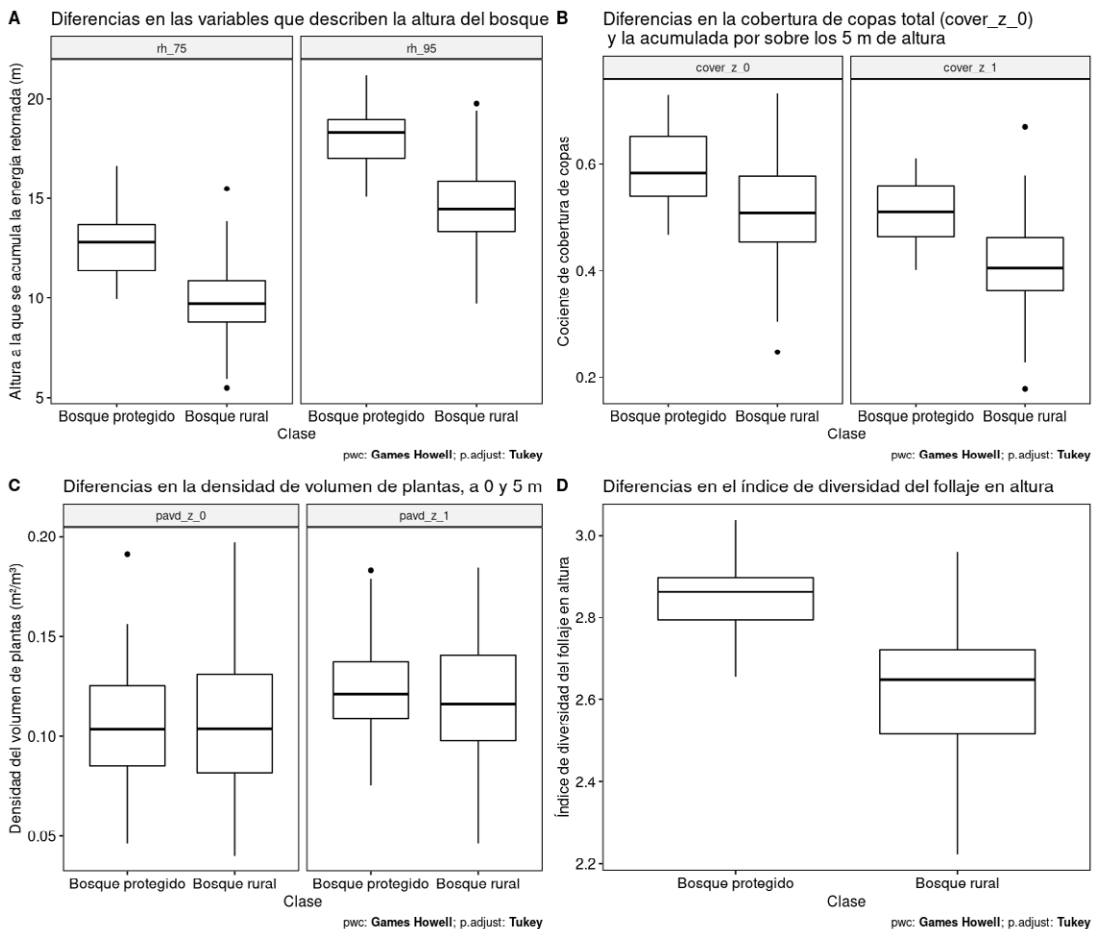


Figura 1. Diferencias de las distintas variables evaluadas para el Bosque protegido y los Bosques rurales.

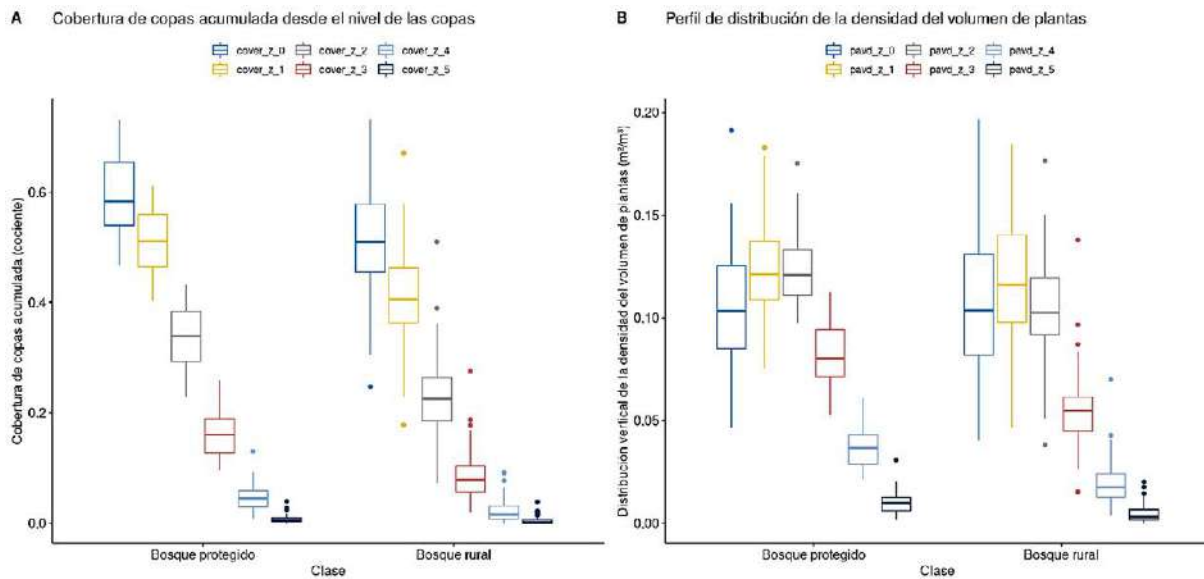


Figura 2. Comparación de la distribución vertical acumulada de la cobertura de copas y de la densidad del área de plantas en volumen

La cobertura de copas total y hasta los 5 metros de altura, determinada por los valores de $cover_{z_0}$ y $cover_{z_1}$ muestran una disminución en torno del 14 al 20% entre los bosques protegidos y rurales. Esto indica que los bosques rurales presentan claros o áreas con una menor densidad de árboles en sus diferentes estratos. Por otra parte, los bosques protegidos poseen un mayor valor del índice de diversidad del follaje en altura. Esto indica que en estos bosques una mayor proporción del área foliar se encuentra concentrada a mayor altura, representada por los árboles grandes que pueblan los estratos superiores del bosque (Valencia, 2020).

4. CONCLUSIONES

La información aportada por la misión GEDI permitió determinar que los bosques ubicados en zonas rurales y expuestos a procesos de degradación poseen una altura total y una cobertura de copas significativamente inferior a los bosques ubicados en áreas naturales protegidas. Estas diferencias pueden deberse a la cosecha selectiva de los árboles más grandes y con mejores características tecnológicas. Estos resultados ponen en evidencia el potencial de los sensores LiDAR satelitales para su aplicación en el estudio de aspectos silvícolas y ecológicos de los bosques de la región. Sería interesante que esta fuente de datos de acceso público y alcance global, sea incorporada a las investigaciones forestales facilitando el estudio de la estructura en áreas extensas a un bajo costo.

5. LITERATURA CITADA

- DUBAYAH, R.; HOFTON, M.; BLAIR, J. B.; ARMSTON, J.; TANG, H.; LUTHCKE, S. 2020a. GEDI L2A Elevation and Height Metrics Data Global Footprint Level V001 [Data set]. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. doi: https://doi.org/10.5067/GEDI/GEDI02_A.001 [Accedido el 2021-06-15]
- DUBAYAH R.; TANG, H.; ARMSTON, J.; LUTHCKE, S.; HOFTON, M.; BLAIR, J. B. 2020b. GEDI L2B Canopy Cover and Vertical Profile Metrics Data Global Footprint Level V001 [Data set]. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. Doi: https://doi.org/10.5067/GEDI/GEDI02_B.001 [Accedido el 2021-06-15]
- GEDI. 2021. Specifications. URL: <https://gedi.umd.edu/instrument/specifications/>
- PLACÍ, G.; DI BITETTI, M. 2006. Situación ambiental en la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). *The environmental situation Argentina*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. p. 195-209.
- MapBiomass. 2021. Proyecto MacBiomass Bosque Atlántico Trinacional. URL: <https://bosqueatlantico.mapbiomas.org>
- VALENCIA, S.; VILLEGAS, J. C.; SALAZAR, J.F. 2020. Analysis of vegetation structure in the savanna – tropical forest transition of South America using The Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) data. En: AGU Fall Meeting, Diciembre 2020.



UNA APROXIMACIÓN A LOS COSTOS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL EN EL CENTRO OESTE DE LA PROVINCIA DEL CHACO, ARGENTINA

Julio Felix MICHELA¹; Sebastián Miguel KEES²

RESUMEN

El trabajo se llevó a cabo en el centro oeste de la provincia del Chaco, Argentina; en el área de influencia de los departamentos Comandante Fernández, Independencia y Almirante Brown. El objetivo fue estimar los costos de las diferentes etapas de la elaboración de rollos y rollizos, abarcando desde las tareas de aprovechamiento forestal hasta el transporte de los productos a las industrias de aserrado o de producción taninera. En términos generales, la metodología empleada permite una estimación de los costos de aprovechamiento tal como lo ponen en práctica los obreros, basada en cálculos intuitivos y ajustables a variaciones en el contexto económico provincial y de cada productor. Cerca de la mitad de los costos están relacionados a movimientos.

Palabras Claves: *Obreros, Producción, Chaco*

1. INTRODUCCIÓN

Una de las actividades principales de la provincia del Chaco, Argentina, es la vinculada a la producción de sus bosques nativos. Estos actualmente cubren una superficie aproximada de cinco millones de hectáreas (MAyDS, 2020). Es la provincia forestal más importante de Argentina en manufactura de productos del bosque nativo. La provincia cuenta con un importante conglomerado productivo y de servicios basados en la extracción y manufactura del recurso forestal, siendo uno de los sectores más dinámicos en la economía social generando 30.000 puestos de trabajo directos, según el Consejo Profesional de Ciencias Forestales del Chaco (2017). Según los datos de la Dirección de Bosques del Chaco (2018) en el período 2012-2018 se despacharon en promedio 230.108 toneladas anuales de rollos de diferentes especies y 172.544 toneladas de rollizo de quebracho colorado.

Según Coronel de Renolfi (2007) frecuentemente se considera que los costos en que incurre una empresa consisten en desembolsos monetarios que debe hacer la organización para obtener los recursos que necesita para producir, sin embargo, estos solo constituyen una parte de los costos. En el cálculo de los costos reales, la información utilizada proviene de los registros de la empresa y pueden ser utilizados en la estimación de costos de procesos o productos. El presente trabajo tiene por objetivo realizar una primera aproximación acerca de los costos que afronta el productor forestal según su propio modo de trabajo en la elaboración de la madera y su posterior colocación en destino.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron entrevistas a seis productores forestales que trabajan en el centro oeste de la Provincia del Chaco, ubicados en Presidencia Roque Sáenz Peña (departamento Comandante Fernández), Avia Terai (departamento Independencia) Concepción del Bermejo y Pampa del Infierno (departamento Almirante Brown). Las entrevistas fueron de carácter no estructuradas, libres, sin orden preestablecido (Vargas Jiménez, 2012). Se realizaron preguntas disparadoras con la posibilidad de repreguntar cuando el entrevistador consideraba que algo no estaba claro. Se abordó constantemente la temática del aprovechamiento forestal, recabando información relativa a los costos

¹ Extensión y Cambio Rural. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Argentina. Correo electrónico: michela.julio@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Sáenz Peña, Campo Anexo Estación Forestal Plaza. Correo electrónico: kees.sebastian@inta.gob.ar



de las diferentes etapas del proceso y las características de los montes que adquieren o arriendan para la explotación en cuanto a distancia, volumen de madera y precio.

Los datos obtenidos de las entrevistas se complementaron con información proveniente de revisión bibliográfica e inferencias necesarias para la realización de los cálculos. Como referencia inicial se tomó el valor del dólar oficial establecido por el Banco de la Nación Argentina (2021) a \$ 95,74. Por otro lado, todos los valores están expresados sin el impuesto al valor agregado (IVA). No se contempla el costo financiero como costo de oportunidad del dinero, entendiendo que es necesario conocer el margen de rentabilidad que genera el negocio para establecer parámetros de comparación, objetivo que excede al presente trabajo (Magnano, 2019). En función de las respuestas de los entrevistados se estiman al año 1656 horas de trabajo según el siguiente cálculo: 52 semanas a razón de 5,5 días por semana con jornales de 8 horas. Se descontaron 79 días correspondientes a feriados y a las lluvias de los meses del verano. Se cotejaron los montos que abona el obrero por jornal y tarea con los montos establecidos en la Resolución 198/2020 de la Comisión nacional del trabajo agrario.

Las operaciones que se realizan para el aprovechamiento de las masas boscosas establecidas por los productores son: apertura de la picada principal en el lote a trabajar, limpieza de picadas y apeo de los árboles, rodeo, carga con guinche y transporte; por lo tanto, una aproximación a la organización de los costos de aprovechamiento del bosque en el área de estudio comprende la siguiente secuencia de cálculos de costos:

- 1) *Estimación de costos de tonelada de madera o rollo por hectárea;*
- 2) *Inferencia de costo de aprovechamiento, aquí se incluyen los costos de apertura de calle principal, de limpieza y apeo de árboles o elaboración del producto y los de rodeo o extracción;*
- 3) *Cálculo de costos relativos al transporte, aquí se incluye la carga de los productos, el transporte de los mismos y gastos relacionados a la logística del proceso;*
- 4) *Estimación de costos arancelarios;*
- 5) *Determinación de costos de formulación de Plan de manejo y*
- 6) *Deducción de costos totales.*

En las estimaciones se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- El precio del combustible establecido por el Ministerio de Energía y Minería de la Nación (2021) igual a \$ 81,20 por litro para el diésel y de \$ 97,70 por litro para el Infinia Diesel.

- En las tareas de rodeo, para calcular los costos del uso del tractor se siguió una adaptación a la modalidad de Bertin (1986). La cotización de los tractores empleados (modelos de los años 80') es de \$ 650.000, a los cuales cada 500 horas se realiza el cambio de filtros y lubricantes con un costo de \$ 19.000. Se tuvieron en cuenta los costos fijos y los costos variables. Dentro de los costos fijos se calculó la depreciación en función de la tabla de coeficientes de amortización publicada en el blog "Contabilidad al alcance de Todos", (2009) y se empleó el doble del valor (0,24). Dentro de los costos variables se incluyó la mano de obra, las erogaciones en combustibles y lubricantes manifestados por los productores y el costo de reparación y mantenimiento anual usando un coeficiente igual a 0,26.

- En el caso del uso del guinche en las tareas de carga, el cambio de filtros y lubricantes tiene un costo de \$ 19.000,00 cada 1.000 horas de trabajo. Con el fin de deducir los costos fijos del guinche se calculó la amortización en función de la modalidad propuesta por Garbers y Chen (2013). Se estableció un valor residual del 40% con una vida útil de 10 años. Dentro de los costos variables se imputó la mano de obra, las erogaciones en combustibles y lubricantes, se usó un valor de 0,06 para el coeficiente de reparación y mantenimiento anual teniendo con base al precio de la maquinaria nueva.

- Respecto al transporte, el valor medio de recorrido de los camiones es de 50.000 km/ año. Los costos fijos contemplan la amortización del equipo (chasis y acoplado), igual \$ 5.000.000,00 con una vida útil de 15 años y un valor residual del 40%, la alícuota de la patente del 2% anual respecto al valor del equipo,



para el seguro anual un valor de \$ 60.000 y un valor de \$ 8.000 por RTO. Los costos variables incluyen el costo del combustible según un rendimiento de 3 km por litro, el costo de las 18 cubiertas del equipo, más otras 2 por desperfectos con un valor de \$ 20.000/unidad con una vida útil de 180.000 km. Cada 30.000 km se realiza cambio de aceite y filtros con un costo de \$ 19.000,00. Por último, los gastos de reparación y mantenimiento usando un coeficiente de 0,007 respecto al valor a nuevo del equipo (Magnano 2019).

- Para el apoyo logístico del aprovechamiento es indispensable una camioneta que recorre 40.000 km al año aproximadamente. Se fijó el precio a nuevo en \$2.500.000,00 con un valor residual del 50% y amortizable en 5 años en base a lo sugerido por el Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista. El consumo de combustible se estimó en 1 litro cada 10 km, el costo de la patente corresponde a una alícuota del 2% del valor a nuevo, el seguro anual en un monto de \$ 30.000 y la RTO en \$ 6.000. El precio de cada cubierta en \$ 16.000 con una vida útil de 80.000 km. El coeficiente de reparación y mantenimiento, se fijó en 0,007 respecto al valor a nuevo de la unidad.

- Para estimar los costos arancelarios se utilizó como base los valores que la Circular N° 27/2019 (modificatoria de la Circular 22/2014) de la Dirección de Bosques de la provincia del Chaco y basada en la Resolución N° 646/14 del Ministerio de la Producción de la provincia por la cual se fija un monto de \$14/ton de rollo o rollizo en concepto de guía de transporte, a esto, se debe sumar lo referido en el Convenio de Corresponsabilidad Gremial (incluye el pago de las cargas sociales) y las Circulares N° 27/2019 y N° 01/2021 de la Dirección de Bosques de la provincia del Chaco que establecen el abono de \$ 290,08 por ton de rollo, y \$ 472,51 por ton de rollizo.

- Aprovechamiento Forestal se utilizaron los honorarios profesionales para el año 2020 establecidos por el Consejo Profesional de Ciencias Forestales del Chaco (Bejarano, 2021, comunicación personal).

3. RESULTADOS

Los entrevistados, productores forestales primarios, coincidieron en que cuando adquieren montes para realizar el aprovechamiento tienen en cuenta dos características, la primera de ellas es la distancia al bosque, tratando de que no supere los 50 km de las localidades antes mencionadas y la segunda, de mayor importancia, es el cupo de aprovechamiento o posibilidad que ofrezca el monte, que en términos de ton/ha debe estar en orden de: 18 de quebracho colorado (*Schinopsis sp*), 12 de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) y 7 entre guayacán (*Caesalpinia paraguariensis*) y guayaibi (*Cordia americana*). Estiman el precio de monte en pie con esta posibilidad en \$ 20.000 la hectárea. Así, el costo por tonelada es de \$540,54. La picada o camino principal que permite el ingreso de un camión con acoplado involucra una superficie de 600 m² por hectárea. La realiza un motosierrista con dos ayudantes, empleando generalmente motosierras de 75 cc de cilindrada. El rendimiento medio es de 1.000 m² por jornal de 8 horas de trabajo. Se abona por la tarea \$ 14.593,77; por lo tanto, el costo de la apertura de la picada principal por tonelada en base al rendimiento y la posibilidad es de \$236,65/ton.

La limpieza y apeo de los árboles, es efectuada también por un motosierrista y dos ayudantes. La picada de acceso desde el camino principal hasta el árbol es de 4 metros de ancho y permite la entrada de un tractor. El rendimiento alcanza las 60 toneladas de rollos o 20 toneladas de rollizo (quebracho colorado para fabricación de tanino) por jornal de 8 horas de trabajo. La diferencia de rendimiento se debe a que en este último producto es necesario quitar la corteza y gran parte de la albura, por lo cual un equipo de apeo elabora 12.420 toneladas de rollos o 4.140 toneladas de rollizo anualmente. Según estos datos el costo de elaboración de rollos es de \$500,00/ton y el de rollizo de \$1100,00/ton.

El rodeo consiste en la extracción del rollo o rollizo hacia la playa o camino principal, se realiza por arrastre con tractor y cadena, la distancia de arrastre oscila entre 0 y 500 metros y lo realizan un tractorista más un ayudante o cadenero. Una jornada de trabajo normal rinde 60 ton y se abona \$/ton 190,00. Los tractores son antiguos (modelos de los años 80') de 80/100 Hp con mandos hidráulicos, diariamente, consumen 30 litros de combustible. Los costos del rodeo se muestran en la Cuadro 1.



La carga se realiza con guinche que consiste en una pluma montada sobre un chasis de camión. La tarea de carga radica en cargar los rollos o rollizos sobre el camión y el acoplado. El equipo que realiza la carga está integrado por 3 operarios: 1 guinchero, quien maneja la pluma y dos ayudantes. Esta cuadrilla carga 90 toneladas por jornada de trabajo. Se abona a razón de \$ 900,00 por operario cada 30 toneladas. El guinche, cada 30 toneladas consume 12 litros de combustible. El cálculo se realiza para 60 toneladas diarias puesto que esta es la cantidad aproximada que proviene desde el apeo y el rodeo (12.420 toneladas anuales). Se abrevia el costo de la carga en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Costos del rodeo.

Costos fijos	\$/ton	Costos variables	\$/ton
Amortización del tractor	12,56	Mano de obra	190,00
		Combustible	40,60
		Filtros y lubricantes	5,07
		Reparación y mantenimiento	13,61
Totales en \$	12,56		249,28

Cuadro 2. Costos de la carga.

Costos fijos	\$/ton	Costos variables	\$/ton
Amortización del guinche	6,76	Mano de obra	90,00
		Combustible	32,48
		Filtros y lubricantes	2,53
		Reparación y mantenimiento	6,76
Totales en \$	6,76		131,77

La siguiente etapa es el transporte, mediante camiones, desde la playa hasta el destino final. Los rollos son trasladados a aserraderos, en localidades cercanas por lo cual las distancias recorridas son del orden de los 150 km ida y vuelta, mientras que el rollizo se lleva a las fábricas de tanino distantes a 110 y 160 km, respectivamente, de Presidencia Roque Sáenz Peña. La retribución al conductor del camión según la Comisión Nacional del Trabajo Agrario (2020) es de \$ 33.996,33 más \$ 33,64 por tonelada cuando por la distancia realice un solo viaje diario. Normalmente, un camión alcanza a hacer 2 viajes por semana con destino a las fábricas de tanino o 4 viajes a aserraderos de cercanía transportando rollos; por lo tanto, el chofer alcanzará una remuneración mensual de \$ 49.067,05. Se consideran 13 sueldos mensuales incluyendo el sueldo anual complementario. En cualquier caso, se estima que los camiones recorren una distancia promedio de 50.000 km al año, con una capacidad de carga media de 30 toneladas. Se estima que se necesitan 3 camiones para despachar las 12.420 toneladas de madera que produce anualmente el equipo de aprovechamiento, transportando cada camión 4.140 toneladas en el año. En este caso, el costo del transporte por km recorrido se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Costo del transporte por kilómetro.

Costos fijos	\$/km	Costos variables	\$/km
Amortización del equipo	4,00	Conductor del camión	12,75
Patente	2,00	Combustible	32,57
Seguro	1,20	Cubiertas	2,20
RTO	0,16	Filtros y lubricantes	0,65
		Reparación y mantenimiento	0,70
Subtotal en \$	7,36		48,87
Total en \$			56,23

Con base a la distancia anual recorrida, la cantidad de camiones y el rendimiento anual el costo por tonelada del transporte es de \$2037,32.

En el caso del apoyo logístico, al conductor de la camioneta (encargado del aprovechamiento o capataz) se le abona un jornal de \$ 3000,00 que equivale al doble del peón forestal según lo establecido por la Resolución 1/2020 de la Comisión Nacional de Trabajo Agrario (CNTA) a razón de 207 jornales al año. Siguiendo idéntico procedimiento de cálculo que, en el caso del transporte, el costo por kilómetro de camioneta es de \$27,93. Según la distancia recorrida y el rendimiento anual, el costo por tonelada del apoyo logístico es de \$105,09.



El costo de la formulación del Plan de Manejo Forestal Sostenible Variante Aprovechamiento Forestal se detalla en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Costo formulación del Plan de Manejo por ha

Costos fijos	\$	Costos variables	\$/ha
Base	14.550,00	adicional	218,00
Totales en \$/ha		14.768,00	

El costo de formulación del Plan por tonelada en base a la posibilidad es de \$399,13.

Finalmente, en el **Cuadro 5** se presenta una síntesis de los costos de aprovechamiento por tarea, tipo de producto y por tonelada.

Cuadro 5. Costos por tipo de tarea y producto.

Tarea/rubro	Costo (\$/ton)			
	Rollo	%	Rollizo	%
Monte en pie	540,54	12	540,54	10,2
Apertura de camino principal	236,65	5,2	236,65	4,5
Limpieza de picada y apeo de arboles	500	11,1	1.100,00	20,7
Rodeo	261,84	5,8	261,84	4,9
Carga	138,53	3,1	138,53	2,6
Flete	2.037,32	45	2.037,32	38,4
Camioneta de apoyo	105,09	2,3	105,09	2
Aforo más corresponsabilidad gremial	304,08	6,7	493,09	9,3
Plan de Manejo	399,13	8,8	399,13	7,5
Totales	4.523,18	100	5.312,19	100

4. CONCLUSIONES

La metodología empleada proporciona una primera aproximación destinada a definir los costos de aprovechamiento tal como lo ponen en práctica los obreros. El proceso de cálculo ofrece un trasfondo intuitivo y ajustable a variaciones en el contexto económico provincial y de cada productor. Para ambos productos (rollo y rollizo) un poco más del 40% están relacionados a movimientos, sea transporte o uso de logística de apoyo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- BANCO NACIÓN. Cotización oficial del dólar. 2020. <https://www.bna.com.ar/Personas>
- LEGISLACIÓN Y AVISOS OFICIALES. Comisión nacional del trabajo agrario. Resolución 140/2019. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/209557/20190612>
- VARGAS JIMÉNEZ, I. 2012. La entrevista en la investigación cualitativa: Nuevas tendencias y retos. Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior 3 (1): 119-139.
- BERTIN, P.A. 1986. Costos relacionados con el uso de maquinaria agrícola. IPA Quilamapu N° 28.
- Cuadro de amortización. Agricultura ganadería y pesca. Producción agrícola. Explotación agrícola y ganadera. Disponible en: <https://www.mirsan.es/2009/03/23/Cuadro-de-amortizacion/>
- GARBERS, R.; CHEN, Y.E. 2013. Costos operativos de maquinarias agrícolas (Síntesis básica para su cálculo). Dirección nacional de contratistas rurales e insumos agrícolas. Subsecretaría de agricultura. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. Presidencia de la Nación. 30 p.
- MAGNANO, G. 2019. El costo del transporte de granos en camiones y su impacto en la estructura comercial del productor agropecuario. XVIII Jornadas nacionales de la empresa agropecuaria. Tandil, Buenos Aires.
- CORONEL DE RENOLFI, M. 2007. Costos Forestales. Serie didáctica N°30. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- CONSEJO PROFESIONAL DE CIENCIAS. FORESTALES DEL CHACO. 2017. Disponible en: <http://www.cpcfch.org.ar/actividadforestal>
- CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICISTA. 2019. Costo km por automotor. <https://www.copime.org.ar/pages/detail/778>
- CONTABILIDAD AL ALCANCE DE TODOS. Blog. 2009. Disponible en: <https://www.mirsan.es/2009/03/23/Cuadro-de-amortizacion>



CIRCULAR N° 22/2014; N° 14/2017; N° 01/2021 y N° 27/2019 Dirección de Bosques de la provincia de Chaco.
Resolución N° 646/14 del Ministerio de la Producción de la provincia de Chaco.

ESTADÍSTICAS DE LA DIRECCIÓN DE BOSQUES DE LA PROVINCIA DE CHACO. Disponible en:
<http://direcciondebosques.blogspot.com.ar/p/legislacion.html>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA. 2020. Disponible en <https://www.minem.gob.ar/www/706/26165/precios-en-surtidor>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2020. Informe región forestal parque chaqueño -
primera revisión



ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE DOS CLONES DE *Populus* spp. CRECIENDO CON ÁREAS DE INCIDENCIA DE 6,25 A 12,25 M² EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Facundo HEINZLE¹, Jorge MARQUINA², José BAROTTO³, Dino PALAZZINI²

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar la estabilidad fenotípica de *Populus x canadensis* 'Conti 12' y *Populus deltoides* 'Stoneville 66' en plantaciones de 10 años de edad, creciendo en cinco marcos de plantación diferentes, ubicadas en Alberti, Provincia de Buenos Aires. El rango de áreas de incidencia evaluadas fue de 6,25 m² a 12,25 m² por árbol. La evaluación de la estabilidad se realizó en las variables diámetro a la altura del pecho, altura media y altura media del cuartil superior. Se realizaron análisis de la varianza, utilizando como fuente de variación al marco de plantación; la comparación de medias se realizó mediante el test de Tukey; se ajustaron 4 rectas por cada variable en estudio entre Áreas de Incidencia consecutivas. El marco de plantación resultó un factor de efecto estadísticamente significativo para las 3 variables. A mayor Área de Incidencia, mayores fueron los valores que alcanzaron las variables. Se observó una menor estabilidad entre las menores áreas de incidencia para las tres variables estudiadas y mayor estabilidad entre las áreas mayores; las rectas ajustadas permitieron cuantificar la estabilidad.

Palabras claves: *densidad, Stoneville 66, Conti 12, marcos de plantación*

1. INTRODUCCIÓN

Según el Informe Forestal presentado por el Ministerio de Hacienda (Argentina, 2019), en el año 2017 la producción de álamo representó un 7,5 % del total de rollizos destinados a la industria de celulosa y papel. Esto coloca al género en el tercer lugar en cuanto a producción luego de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*. Según el mismo Informe, la producción de madera de álamo provino principalmente de la provincia de Buenos Aires, repartida en igual proporción entre el sistema deltaico del Río de la Plata y la porción continental.

En la composición actual de las plantaciones bonaerenses predominan los clones de *Populus deltoides*, seguidos de los de *P. x canadensis* (= *P. x euroamericana*). *P. deltoides* 'Stoneville 66' es uno de los clones más utilizados en los mejores sitios (Achinelli, 2006). *P. x canadensis* se utiliza para triturado, destinándose para su cultivo los sitios de suelos más arenosos o, en el otro extremo, con problemas de drenaje, debido a su buena adaptabilidad (Achinelli, 2006).

Los principales factores silvícolas que determinan la producción forestal son: el material genético, la calidad de sitio, los tratamientos intermedios y técnicas de establecimiento, la densidad de plantas y los turnos de corta (Daniel et al., 1982). El desafío de la producción es conjugar estos factores de modo de alcanzar el máximo crecimiento. De los mismos, la densidad y el material genético tienen un rol particular; éstos son factores sobre los que el productor tiene poder de decisión, pero una vez elegidos es difícil, imposible o muy costoso cambiar. Así, en la Pampa húmeda, producciones de madera para triturado suelen plantarse a densidades de entre 1 143 y 1 020 plantas por hectárea, mientras que, si el destino es madera para debobinado o aserrado, las densidades suelen ser de 1

¹Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). fheizle@correociefap.org.ar

²Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. dino.palazzini@agro.unlp.edu.ar / Jorge.marquina@agro.unlp.edu.ar

³Cátedra de Ind. de Transformación Química, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. jose.barotto@agro.unlp.edu.ar



111 a 625 plantas por hectárea (Achinelli, 2006). La variable operativa que define la densidad es el marco de plantación. Los marcos típicamente utilizados cuando el destino es la molienda son de 2,5 m x 3,5 m o de 2,8 m x 3,5 m. Cuando el destino es aserrado, la distancia entre plantas aumenta a 3 m x 3 m; 2,5 m x 4 m; 2,5 m x 5 m y hasta 4 m x 4 m (Achinelli, 2006).

La estabilidad fenotípica analiza cuanto influye el ambiente en la expresión del fenotipo. Individuos de un mismo genotipo creciendo en distintas situaciones de competencia podrían presentar valores similares de crecimiento (en cuyo caso se trataría de un fenotipo estable) o valores muy disímiles de crecimiento, con lo cual diríamos que se trata de un fenotipo poco estable o muy inestable (Cubero y Flores, 1995). De lo dicho deviene el interés de estudiar la estabilidad fenotípica tomando en cuenta la competencia entre ejemplares vecinos como variable ambiental, representada por la densidad de plantas, definida por los marcos de plantación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con ejemplares de *Populus x canadensis* 'Conti 12' y *Populus deltoides* 'Stoneville 66' de 10 años de edad. El ensayo se ubicó en el establecimiento María Dolores de la empresa Papel Prensa S.A. (34° 50' S; 60° 30' O; 55 ms. n. m.), situado en el Partido de Alberti, Provincia de Buenos Aires. El suelo corresponde a un Hapludol Típico, limosa fino, mixto, térmico (USDA-Soil Taxonomy, 2006). Posee una capacidad de uso tipo II con índice de productividad 79,6. La clasificación climática de Köppen-Geiger ubica a esta zona dentro del tipo climático Cfa, denominado *clima templado lluvioso, sin estación seca y con verano caluroso*.

La estabilidad fenotípica se estudió en relación a cinco marcos de plantación (**MP**) asociados a sus correspondientes áreas de incidencia (**AI**) (superficie a disposición teórica de cada planta), los que conformaron los tratamientos, en parcelas de 6 filas x 6 hileras y doble bordura, en tres bloques. Los **MP** fueron: 2,5 m x 2,5 m; 3,5 m x 2,0 m; 3,5 m x 2,5 m; 3,5 m x 2,8 m y 3,5 m x 3,5 m con parcelas de superficie que variaron entre 225 m² y 441 m², dependiendo del marco. Las **AI** tuvieron valores de entre 6,25 m² y 12,25 m². Los 3 marcos intermedios en área de incidencia son de uso habitual en el establecimiento y la región (Achinelli, 2006), y se agregaron uno por encima y otro por debajo.

A cada ejemplar se le midió el perímetro a 1,3 m del suelo con cinta métrica milimetrada y la altura total con hipsómetro Blume-Leiss. Se calcularon, diámetro a 1,3 m (**DAP**) por ejemplar, **DAP** medio, altura media (**AM**) y altura media del cuartil superior de alturas (**AMCS**) por marco de plantación por parcela. Esta última altura fue utilizada como indicadora de la altura media dominante por Marlats et al. (1998).

La estabilidad fenotípica fue analizada utilizando análisis de la varianza y Test de Tukey (según marcos de plantación) para un 95 % de probabilidad y ajuste de 4 rectas por cada variable estudiada (**DAP**, **AM** y **AMCS**), por método de mínimos cuadrados. Cada recta se generó por los pares ordenados: área de incidencia efectiva estudiada valor de la variable considerada para cada ejemplar, en áreas de incidencia consecutivas. Esta modalidad de regresión segmentada es citada por Cubero y Flores (1995) y utilizada por Verma et al. (1978) y Cruz et al. (1989), y se utiliza para representar la intensidad de la variación entre **MP** estudiados consecutivos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para ambos clones el análisis de la varianza señala al marco de plantación como factor de efecto estadísticamente significativo en la variable **DAP** para un 95 % de probabilidad. Atendiendo al test de Tukey se identifican 4 grupos homogéneos de marcos de plantación, con diferencias estadísticamente significativas para los valores medios de la variable. Se destaca como favorecedor de generación de mayores **DAP** al **MP** 3,5 m x 3,5 m (12,25 m²), asociando mayor **AI** a mayor **DAP**. Los valores de esta variable son similares a los reportados por otros autores para distintos clones del género implantados en la región, a los 10 años y creciendo en distanciamientos similares (Monteoliva y Senisterra, 2008).



Cuadro 1. Resumen según clon y área de incidencia de valores medios de DAP, altura total, y cuartil superior de alturas. Letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, para cada clon.

Clon	MP (m x m)	AI teórica (m ²)	DAP (cm)		AM (m)		AMCS (m)	
Stoneville 66	2,5 x 2,5	6,25	16,4	a	21,16	A	22,93	a
	3,5 x 2,0	7,00	18,5	b	23,18	b	24,72	c
	3,5 x 2,5	8,75	18,9	b	22,92	b	24,09	b
	3,5 x 2,8	9,80	21,1	c	24,24	c	25,35	d
	3,5 x 3,5	12,25	22,7	d	24,99	c	25,94	e
Conti 12	2,5 x 2,5	6,25	16,4	a	19,31	a	20,72	a
	3,5 x 2,0	7,00	18,6	b	20,60	bc	22,32	c
	3,5 x 2,5	8,75	19,6	b	20,36	b	21,68	b
	3,5 x 2,8	9,80	21,9	c	21,39	cd	22,54	c
	3,5 x 3,5	12,25	24,0	d	21,95	d	22,93	d

En cuanto a la variable **AM**, 'Stoneville 66' presentó dos tratamientos que se destacan por sus mayores valores: 3,5 m x 3,5 m (12,25 m²) y 3,5 m x 2,8 m (9,8 m²), con medias de 24,99 m y 24,24 m respectivamente, no diferenciables estadísticamente entre sí. Para 'Conti 12', la mayor **AM** se encuentra en el **MP** de 3,5 m x 3,5 m, con un valor de 21,95 m. No se detectan en el ensayo condiciones ambientales de crecimiento que difieran drásticamente de los registros publicados para la región (Baridón et al., 2008). Los valores obtenidos también están dentro de los rangos presentados por otros autores. Achinelli (2006) informa para la región valores máximos de altura entre 16,6 m y 29,4 m. Por último, la **AMCS** tiene un comportamiento similar en ambos clones (el mayor valor se da en la mayor **AI**), se destaca 'Stoneville 66' sobre 'Conti 12' con una altura media del mejor tratamiento de 25,94 m. Marlats et al. (1998) obtuvieron valores del orden de los 22 m, al trabajar espaciamientos de 2,5 m x 3,5 m, en los clones 'Catfish 2' y 'Stoneville 72' de *Populus deltoides* en Alberti, provincia de Buenos Aires.

Como se muestra en la Figura 1, los clones manifestaron estabilidad al analizar el comportamiento de la variable **DAP**, cuando la variación de condiciones de espacio, y probablemente nutrientes y humedad fue determinada por el pasaje del marco de plantación 3,5 m x 2,0 m al 3,5 m x 2,5 m, mientras que la situación de menor estabilidad se vio entre los marcos de plantación 3,5 m x 2,5 m a 3,5 m x 2,8 m y 2,5 m x 2,5 m a 3,5 m x 2,0 m; siguiendo la correspondiente a los marcos 3,5 m x 2,8 m a 3,5 m x 3,5 m. La intensidad de la variación en **DAP** entre dos áreas de incidencia consecutivas se ve reflejada en las pendientes de las rectas cuyo ajuste por mínimos cuadrados resultó significativo. En ellas se observa que la estabilidad se ve más alterada cuando menores son las áreas de incidencia. En otras palabras, cuanto mayor es el grado de competencia entre los individuos, mayor es la respuesta al tratamiento y menor la oportunidad de estabilidad. El mismo comportamiento fue evaluado y reportado por Marlats et al. (1998) para 'Catfish 2' y 'Stoneville 72'.

Al igual que para la variable **DAP**, la tendencia general de la variable **AM** es de aumentar a medida que aumenta el **AI**. Marlats et al. (1998) en esta misma localidad y con dos clones de *Populus deltoides* pudieron apreciar que la altura media está relacionada con el área de incidencia, manteniéndose esta relación en el tiempo. Coincidiendo con lo observado por Marquina et al. (2014) para dos clones del género (*Populus x canadensis* 'Conti 12' y *Populus deltoides* 'Stoneville 66').

Por último, la variable **AMCS** muestra (en el test de comparación de medias) diferencias estadísticamente significativas entre todos los marcos de plantación. Mayores áreas de incidencia se asocian con mayores **AMCS**. Las rectas generadas a partir de los datos correspondientes a los pares de marcos 2,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,0 m, 3,5 m x 2,0 m - 3,5 m x 2,5 m y 3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8 m, poseen pendientes estadísticamente significativas. Las pendientes de las rectas ajustadas resultan un indicador ponderado de estabilidad (a mayor pendiente, menor estabilidad). Atendiendo a las mismas, se detecta la menor estabilidad (mayor variación del **AMCS**, por m² de variación de área de incidencia) para el pasaje entre los marcos de plantación 2,5 m x 2,5 m y 3,5 m x 2,0 m, siguiéndole



entre los marcos de plantación 3,5 m x 2,5 m y 3,5 m x 2,8 m, y posicionándose por último entre los marcos de plantación 3,5 m x 2,0 m y 3,5 m x 2,5 m. Las **AMCS** aumentaron en coincidencia con el aumento del área de incidencia, tal como fuera expresado por Marlats et al. (1998) para los clones 'Catfish 2' y 'Stoneville 72'. Para los clones en estudio la **AMCS** no resulta útil en la comparación de calidades de sitio con rodales de diferente densidad de plantas.

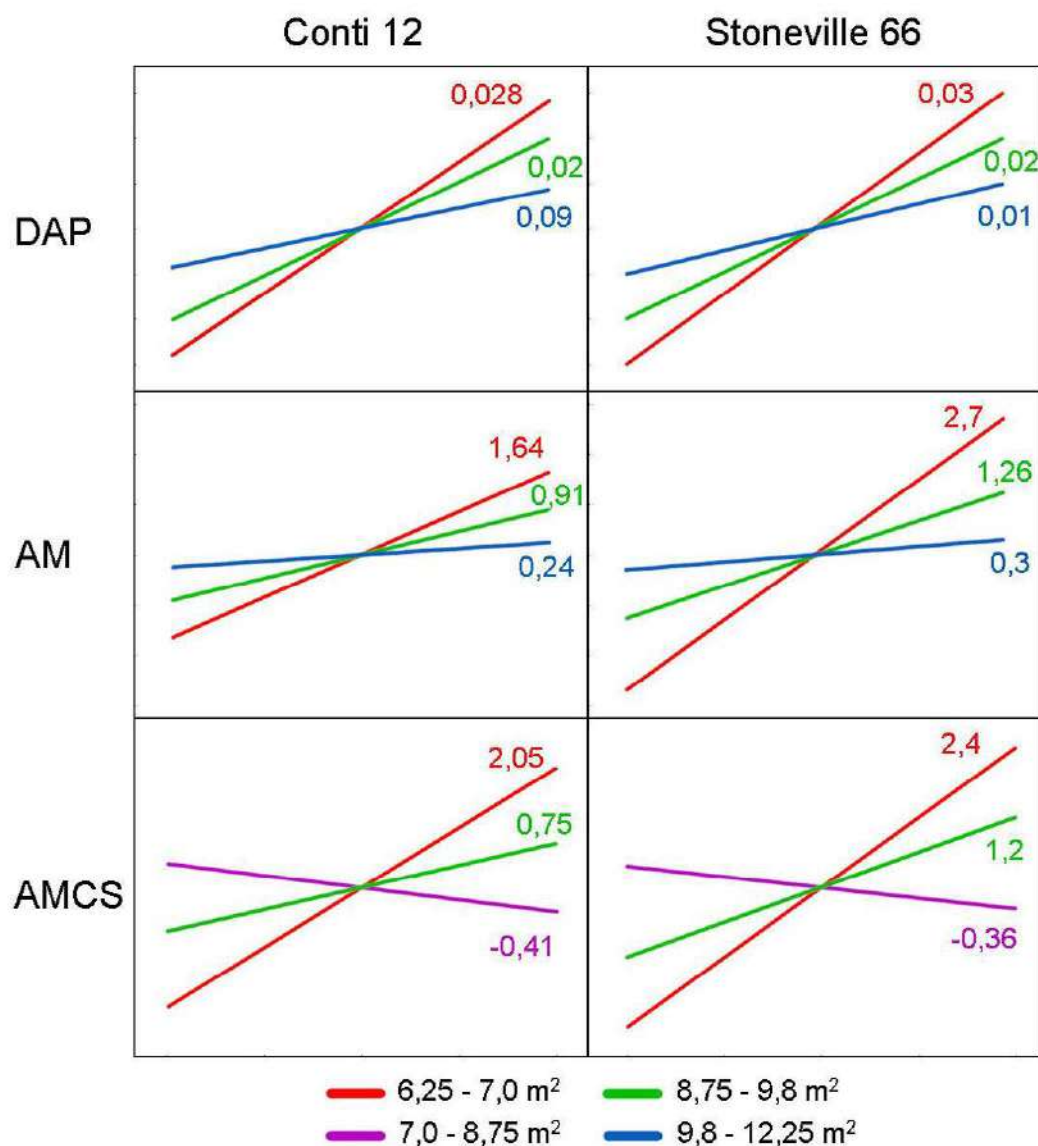


Figura 1. Pendientes de regresión estadísticamente significativas (probabilidad 95%), ajustadas para valores de Diámetro a la altura del Pecho (DAP), Altura media (AM) y Altura Media del Cuartil Superior (AMCS), en marcos de plantación con áreas de incidencia consecutivas, para dos clones: *Populus x canadensis* 'Conti 12' (Conti 12) *Populus deltoides* 'Stoneville 66' (Stoneville 66). Se muestra solo las rectas con coeficientes de regresión significativos.

Desde la perspectiva general del estudio de la estabilidad de los clones, los test practicados permiten determinar rangos de áreas de incidencia que presentan características estables para una variable dada. Para los rangos inestables es factible ahondar los estudios para situaciones intermedias.

4. CONCLUSIONES

Populus x canadensis 'Conti 12' no presentó un comportamiento estable para los parámetros diámetro a la altura del pecho (DAP), altura media (AM) y altura media del cuartil superior



(AMCS). Para las tres variables, el clon resultó inestable al pasar de áreas de incidencia efectiva de $6,25 \text{ m}^2$ a 7 m^2 y de $8,75 \text{ m}^2$ a $9,8 \text{ m}^2$. De igual modo, para las tres variables, la estabilidad aumenta al aumentar el área de incidencia y disminuir la competencia.

Populus deltoides 'Stoneville 66', a los 10 años de edad, no presentó un comportamiento estable general para los parámetros **DAP**, **AM** y **AMCS**. Los análisis de estabilidad realizados, permitieron determinar segmentos de áreas de incidencia que presentan características estables para una variable dada. Las situaciones de estabilidad dependieron de la variable estudiada. **AMCS** resultó en general la característica menos estable y **AM** la más estable.

Al estudiar la estabilidad fenotípica, cada variable en estudio se comporta de manera diferente, con tendencias similares para ambos clones.

5. LITERATURA CITADA

- ACHINELLI, F. 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda. Actas de las Jornadas de Salicáceas 2006. Buenos Aires. Argentina. pp. 21–36.
- BARIDÓN, E., M. PALENZONA, R. MARLATS, G. SENISTERRA & G. MILLÁN. 2008. *Populus spp.*, respuestas clonales de crecimiento en suelos Argiudoles y Hapludoles, de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Ciencia e investigación Agraria 35 (3): 287–292.
- CRUZ, C., R. TORRES & R. VENCOVSKY. 1989. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. Revista Brasileira de Genética 12 (3): 567- 580.
- CUBERO, J. I. & F. FLORES. 1995. Métodos Estadísticos para el Estudio de la Estabilidad Varietal en Ensayos Agrícolas. Ed. Junta de Andalucía. España. 125 pp.
- DANIEL, T., J. HELMS & F. BACKER. 1982. Principios de Silvicultura. Ed. McGraw-Hill. México. 492 pp.
- KOTTEK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF & F. RUBEL. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15 (3): 259–263.
- MARLATS, R., R. BRATOVICH, J. MARQUINA & J. ARCE. 1998. Interacción clon-espaciamento en *Populus deltoides*. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Plata 103 (1): 17–26.
- MARQUINA, J., J. BAROTTO & D. PALAZZINI. 2014. *Populus x canadensis* 'Conti 12' y *Populus deltoides* "Stoneville 66" creciendo en 5 diferentes marcos de plantación. Acta de las Jornadas de Salicáceas 2014. 1-15
- MINISTERIO DE HACIENDA. 2019. Informes de cadenas de valor. Forestal, papel y muebles. Año 4. Número 14 Presidencia de la Nación Argentina. ISSN: 2525-0221. pp . 1-38
- MONTEOLIVA S. & G. SENISTERRA. 2008. Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el crecimiento y propiedades de la madera de *Populus*. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 17 (3): 261-270.
- RAGONESE, A., F. RIAL ALBERTI, R. CIOCCHINI & A. GARCÍA. 1987. Fitotecnia de salicáceas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Castelar (INTA). Academia Nacional de Agronomía y Veterinario N° 6. 30 pp.
- SENISTERRA G., M. DUCID, M. MURACE & J. MARQUINA. 2012. Susceptibilidad a *Septoria musiva* de híbridos inter e intra específicos de *Populus spp.* implantados en dos micrositos de la Pampa húmeda. Revista FCA UNCUYO 44 (1): 65-75.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2006. Keys to soil Taxonomy. Décima edición. Ed. USDA. Washington, D.C. 341 pp.
- VERMA, M., G. CHAHAL & B. MURTY. 1978. Limitations of conventional regression analysis a proposed modification. Theoretical and Applied Genetics 53 (2): 89-91



EVALUACION DEL CRECIMIENTO INICIAL DE PROCEDENCIAS LOCALES DE *Eucalyptus sideroxylon* (A.Cunn.ex Woolls) EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Pablo S. PATHAUER¹, Dino A. PALAZZINI²

RESUMEN

Eucalyptus sideroxylon (A.Cunn ex Woolls) es reconocido como una de las especies de eucaliptos de mayor durabilidad natural, siendo su madera apta para diversos usos sólidos sin necesidad del agregado de preservantes. Existe una demanda del sector productivo agropecuario de este tipo de productos, principalmente postes cortos, varillas, boyeros y tablas para construcciones rurales. Siendo los antecedentes locales de esta especie escasos, en el año 2017 se instalaron dos ensayos exploratorios conformados por progenies de individuos selectos en tres plantaciones (procedencias) ubicadas en la provincia de Buenos Aires. Se presentan resultados de sobrevivencia al primer y cuarto año de edad, altura inicial al primer año y diámetro a 1,3 m de altura al cuarto año. Tanto la sobrevivencia y el crecimiento inicial en altura al primer año, como el diámetro al cuarto año, son superiores a los valores reportados por otros autores para esta misma especie. Se observa variabilidad a nivel de procedencias para las variables de crecimiento (altura al año 1 y diámetro al año 4). Los materiales procedentes de Villa Bosch demostraron buena adaptación en ambos sitios de ensayo. Se discuten estos resultados y la posibilidad de avanzar con un programa de mejoramiento genético para esta especie.

Palabras clave: *eucaliptos, durabilidad natural, postes*

1. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Buenos Aires se producen aproximadamente unos 15 millones de cabezas de ganado bovino en 25 000 establecimientos agropecuarios (Censo Nacional Agropecuario 2018). Estos establecimientos utilizan productos de madera que deben permanecer en servicio muchos años sin deteriorarse. La durabilidad natural es una propiedad de la madera que le permite resistir el deterioro causado por bacterias, hongos, termitas, barrenadores y organismos marinos sin tratamientos de conservantes químicos o revestimientos (Bush, 2011).

Actualmente, productos como postes, varillas de alambrado, boyeros, estacones o madera aserrada para distintos usos rurales siguen siendo elaborados a partir de especies nativas o de especies exóticas de rápido crecimiento tratadas con preservantes. Hasta el momento, la producción local de especies forestales con alta durabilidad natural de su madera apta para estos usos, no está difundida en la provincia de Buenos Aires.

La durabilidad natural es una propiedad deseable que se encuentra en muchas especies de eucalipto, pero no en todas. Especies de rápido crecimiento que se cultivan en la región pampeana como *Eucalyptus globulus* o *Eucalyptus dunnii* están catalogadas como poco durables, pero existen otras como el *Eucalyptus sideroxylon* (A.Cunn. ex Woolls) o *Eucalyptus tricarpa* (L.A.S. Johnson), que están catalogados dentro de las especies más duraderas (Tipo 1) y poseen buen comportamiento frente al frío y la sequía. De acuerdo a la norma AS 5604 2005 (Timber - Natural durability ratings) de Standards Australia, se considera como Tipo 1 (muy durable) cuando la madera en el suelo (enterrada) o sobre el suelo posee una durabilidad superior a los 25 años y 40 años, respectivamente (Bush, 2011).

¹ Instituto de Recursos Biológicos. INTA. Contacto: Pathauer.pablo@inta.gob.ar / Tel. +54 (11) 3754-8400 int 8377

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. Contacto: Palazzini.dino@inta.gob.ar



E. sideroxylon vulgarmente denominado “Eucalipto de corteza de hierro roja” (“red ironbark”), se distribuye naturalmente desde el norte de Victoria, a través de las laderas occidentales de Nueva Gales del Sur, hasta el sudeste de Queensland. Es un árbol de porte medio que puede llegar a medir entre 25 m a 35 m de altura. Posee una corteza persistente de color marrón oscuro a negro, dura y profundamente surcada. Florece abundantemente desde principio de otoño hasta mediados de la primavera, con flores de color crema, rosa o un rosa-rojizo.

Se caracteriza por presentar madera relativamente dura y densa (aprox. 1 170 kg/m³), naturalmente durable, tolerar bien las heladas, sequías y suelos pobres, pudiendo crecer en ambientes con 400 mm de precipitación anual. Se la ha utilizado en la restauración de canteras y suelos degradados (Boland *et al.*, 1992). Entre los productos que se fabrican a partir de su madera se encuentran durmientes, postes y madera para construcciones rurales, marítimas, leña y construcción de muebles artesanales. Dentro de los productos no madereros, posee numerosos compuestos de interés para variadas industrias; sus hojas son utilizadas para la extracción de aceites esenciales como eucaliptol y cineol en la industria farmacéutica y cosmética; su corteza posee alta concentración de taninos y es de importancia apícola por su amplia floración. Debido a sus características, se ha introducido en regiones secas de Nueva Zelanda, Chile, México, Estados Unidos, Israel, España y Portugal, entre otros (Poole *et al.*, 2017; Prado *et al.*, 1986, Foroughbakhch *et al.*, 2017). En Argentina pueden encontrarse algunas plantaciones, principalmente en tierras pertenecientes a Ferrocarriles Argentinos, que fueran implantadas para la provisión de madera para durmientes, como así también en campos para la provisión de leña y por su valor ornamental. Por otro lado, el IFONA (Instituto Forestal Nacional) implantó, en algunas de sus estaciones, parcelas de esta especie, muchas de las cuales persisten en la actualidad.

Con el objetivo de estudiar el comportamiento de esta especie para la provisión de madera para usos rurales, se instalaron dos ensayos exploratorios de progenies locales, a partir de la selección de ejemplares en tres rodales de la provincia de Buenos Aires.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2016 se identificaron rodales de *E sideroxylon* ubicados en el norte de la provincia de Buenos Aires a los efectos de seleccionar ejemplares de buenas características de crecimiento, sanidad y rectitud de fuste. Las localidades relevadas fueron: IFONA Castelar, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA – INTA Castelar), Estación Villa Bosch del Ferrocarril General Urquiza (Villa Bosch, Ferrocarriles Argentinos), Del Valle (25 de Mayo) y Luján. Tanto en los sitios de Villa Bosch como en Del Valle fue posible identificar buenos individuos y coleccionar semilla de los mismos. Para el primer sitio se seleccionaron 7 ejemplares y para el segundo 8. En relación al material seminal de CNIA INTA Castelar, corresponde a un bulk de semillas cosechadas con anterioridad de un monte de reparo instalado a mediados del siglo pasado. En el caso de IFONA Castelar y Luján, se identificaron árboles de buenas características, pero la cosecha de semilla se realizó con posterioridad a la instalación de los ensayos incluidos en el presente trabajo.

En noviembre de 2017 se instalaron dos ensayos a campo, con 16 materiales genéticos provenientes de las locaciones Del Valle y Villa Bosch y el bulk de semillas de ejemplares ubicados en CNIA – INTA Castelar.

Uno de los ensayos se instaló en la localidad de Jáuregui (JAU), partido de Luján a 34°36'32" S; 59°12'03" O, sobre un lote donde previamente se había producido pino. El suelo conforma una asociación entre serie Mercedes (70 %) y serie Gowland (30 %), (Inst de Suelos, 2013) que se corresponde con características de un Argiudol típico, pero con ciertas limitantes principalmente ocasionadas por defectos de drenaje. El segundo sitio de ensayo corresponde a un lote ubicado a 34°36'54" S; 58°40'1.7" O, en el predio del Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (CNIA) de INTA en el Partido de Hurlingham, conocido como INTA-Castelar (CAST). El suelo corresponde a una asociación de suelos de las series Las Cabañas (60 %), Los Reseros (30 %) y Tuyú (10 %) (Gomez, 1993) de buena capacidad de uso en general (56 a 60) con características de un Argiudol típico. En particular este lote, estuvo previamente ocupado con *Eucalyptus sp.* y presentaba su horizonte superficial parcialmente decapitado.



Desde el punto de vista climático, ambos sitios poseen similares características. La temperatura media ronda los 17 °C, con máxima media de 30 °C en enero y mínima media de 4 °C en julio. La ocurrencia de heladas está en el orden de los 10 a 15 días al año. La precipitación media anual ronda los 1 000 mm.

La preparación de sitio consistió en una pasada de rastra de disco en la banda de plantación en ambos sitios. En JAU se realizó una pasada posterior de disco camellonador. Las malezas fueron controladas con aplicación de herbicidas preemergentes en la línea de plantación. Para la plantación se utilizó un diseño de bloques completos al azar, 4 repeticiones, con parcelas cuadradas de 9 plantas, distancia de plantación de 3 m x 2 m. En el sitio CAST se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones y parcelas de 18 (6 x 3) plantas. A los efectos de evaluar el comportamiento de estos materiales en altas densidades iniciales, se utilizó un distanciamiento de 2 m x 1 m. En ambos ensayos se usó bordura perimetral doble.

Al año de implantados los ensayos, se relevaron variables de sobrevivencia (Sobrev.1) y altura inicial (HT1). A los cuatro años se relevó nuevamente la sobrevivencia (Sobrev.4) y el diámetro de fuste a 1,3 m (DAP4). Para el análisis estadístico de estas variables se utilizó el software InfoStat 2020.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Al año de edad, la sobrevivencia en ambos ensayos fue alta, con medias del 94 % en Castelar (CAST) y 97 % en Jáuregui (JAU) y sin diferencias significativas entre las procedencias. A la edad de 4 años, la sobrevivencia media fue de 78 % en CAST y 95 % en JAU (Figura 1). En el sitio CAST, el material más afectado fue el Bulk de INTA Castelar, con una sobrevivencia que disminuyó del 96 % al 61 %, diferenciándose significativamente de las otras procedencias. Esta situación no se observó en JAU por lo que la disminución en sobrevivencia en CAST podría estar relacionada a la alta densidad de plantación inicial de este sitio.

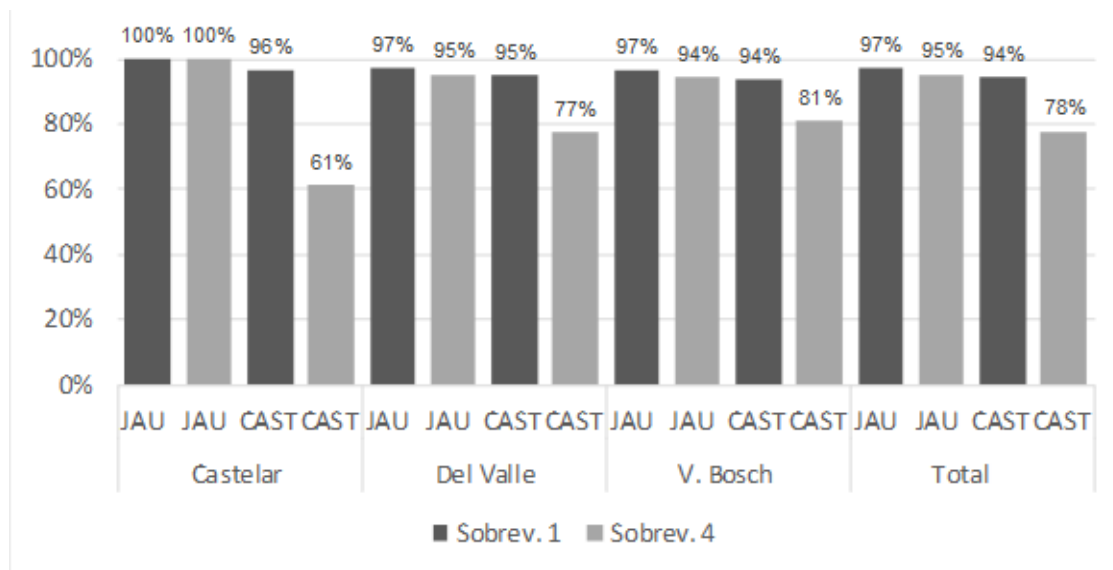


Figura 1. Sobrevivencias al primer (Sobrev.1) y cuarto (Sobrev.4) año de edad por procedencia (Castelar, Del Valle y V. Bosch) y total para todas las procedencias, para cada sitio de ensayo (CAST, JAU).

La altura media al primer año del sitio JAU fue significativamente mayor que el para el sitio CAST, con medias generales de 1,75 m y 1,25 m, respectivamente. A nivel de procedencias, no se detectaron diferencias significativas para el sitio JAU para el crecimiento en altura al primer año, mientras que para CAST se encontraron diferencias significativas, destacándose la procedencia de Villa Bosch (Cuadro 1). A nivel de progenies por procedencias, no se encontraron diferencias significativas en el sitio CAST, mientras que para el sitio JAU, se encontraron diferencias para la procedencia Villa Bosch.

En relación al DAP4 la media general para JAU fue de 7,75 cm. Las procedencias se diferenciaron significativamente, destacándose Villa Bosch. Misma situación se observa en CAST, con media general



de 6,47 cm y destacándose significativamente la misma procedencia. Los valores observados de crecimiento, tanto ALT1 como DAP4, independientemente del sitio, son alentadores. Prado (1986) reporta para un ensayo de especies ubicado en Chile, crecimientos en DAP y altura a los 15 años de 13,8 cm y 6,4 metros respectivamente, mientras que Gutiérrez (2010) informa para 3 ensayos de especies instalados en zonas semiáridas de Chile, valores de sobrevivencia que van desde 91,7 % y crecimientos de 2,39 metros de altura y 4,5 cm de diámetro a la altura del cuello (DAC) a los 3 años en el mejor ambiente, sobrevivencias de 44 % , 0,7 metros de altura y 1,16 cm de DAC en la zona más limitante, a los 2 años de edad. En ensayos instalados en Australia se reportan crecimientos medios de altura a los 3 años cercanos a los 4 m (Hardwood *et al.*, 2001), mientras que, en México, se reportan a la edad de 5 años, valores de altura inferiores a 3 metros (Foroughbakhch *et al.*, 2017)

Cuadro 1. Medidas resumen para HT1 y DAP4 por sitios de ensayo y procedencias. Letras distintas en cada ensayo (CAST, en mayúsculas y JAU, en minúsculas) indican diferencias significativas.

Sitio	Procedencia	Media	HT1 (m)		Media	DAP4 (cm)			
			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
CAST	V. Bosch	1,36	A	0,20	2,40	6,87	A	3,18	15,92
	Del Valle	1,20	B	0,10	2,10	6,20	AB	3,18	15,44
	Castelar	0,98	C	0,20	2,00	5,64	B	3,18	10,50
JAU	V. Bosch	1,76	a	0,30	2,60	8,47	a	3,50	14,43
	Del Valle	1,76	a	0,30	2,60	7,31	b	3,18	13,69
	Castelar	1,67	a	0,70	2,30	7,44	b	3,50	12,10

4. CONCLUSIONES

Los materiales evaluados demostraron alta sobrevivencia y crecimientos superiores a los reportados en la bibliografía consultada, comparables a otras especies de eucaliptos implantadas en la región. La procedencia Villa Bosch se destaca en ambos sitios.

La mayor densidad de plantación podría relacionarse con la caída en la sobrevivencia a la edad de 4 años.

Los resultados obtenidos, si bien son preliminares, incentivan a continuar explorando el desempeño de esta especie, evaluando nuevas variables y ampliando la base genética a partir de introducciones y nuevas progenies locales.

5. LITERATURA CITADA

- BARRY, P; GARY, W. & YANG, L. (2017) Potencial for growing and processing durable Eucalypts in New Zeland. SWI. Forest Growers Research. Publication No:SWP-T036. New Zeland.
- BOLAND, D.; BROOKER, M.; CHEPPENDALE, G.; HALL, N.; HYLAND, B.; JOHNSTON, R.; KLEINIG, D. & TURNER J. (1992). Forest trees of Australia.CSIRO publications, Melbourne,Australia.
- BUSHD. (2011). Selecting and breeding eucalypts for natural durability. In: John Walker, editor/s. Developing a Eucalypt resource – learning from Australia and elsewhere; 3-4 November 2011; Blenheim New Zealand. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury; 2012. 125-136. <http://hdl.handle.net/102.100.100/98967?index=1>
- DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M. & ROBLEDO, C. (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FOROUGHBAKHCH, R.; CARRILLO-PARRA, A.; HERNÁNDEZ-PIÑERO, J. & GUZMÁN-LUCIO, M. (2017). Growth and yield of an eucalyptus subtropical plantation in a Northeastern Mexico degraded land soil. Madera y Bosques, vol. 23, núm. 3, 2017, pp. 71-85 Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México
- GOMEZ, L. A. (1993). Carta básica semidetallada de suelos. Complejo de Investigaciones Castelar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Provincia de Buenos Aires
- GUTIÉRREZ, B.; MOLINA, M. & BARROS, S. (2010). Selección de nuevas especies para zonas con déficit hídrico. Ciencia e Investigación Forestal - Instituto Forestal / Chile. Volumen 16 N° 2, Agosto 2010 / 161



- HARWOOD, C.; BULMAN, P.; BUSH, D.; MAZANEC, R. & STACKPOLE, D. (2001). Australian Low Rainfall Tree Improvement Group: Compendium of Hardwood Breeding Strategies. RIRDC, Canberra, Australia. RIRDC Publication No. 01/100
- INSTITUTO DE SUELOS – INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (2013). Cartografía digital de Suelos y Fotomosaicos Georeferenciados de Buenos Aires. www.geointa.inta.gob.ar.
- NGUYEN, L. (2019). Assessing the wood properties of a 2-year old *Eucalyptus tricarpa*. University of Canterbury. <https://hdl.handle.net/10092/100941>
- PRADO, J.; AGUIRRE, S.; BARROS, S.; BARROS, D.; ROJAS, P. & WRANN, J. (1986). Especies forestales exóticas de interés económico para Chile. Editorial INFOR : CORFO. Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1293>



¿CUÁNTO AFECTA LA EDAD DE LA PLANTACION EN LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO?

Ana María LUPI¹ y Paula FERRERE²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las existencias de carbono orgánico en el suelo (COS), en rodales de *Pinus radiata* del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se desarrolló en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos en rodales de 9, 13, 15 y 21 años sobre suelos de textura fina en ambientes de Sierras de Tandil y un rodal de 19 años sobre ambientes de dunas marítimas, todos en primera rotación forestal. Se tomaron muestras de suelos en 4-6 parcelas forestales y se cuantificó la concentración de COS en las profundidades 0-10, 10-25 y 25-50 cm. También se determinó la densidad aparente de cada estrato. Se calculó el stock para cada capa y para el estrato 0-50 cm a masa equivalente ($COS_{meq0-50}$). Se encontró que la concentración y la cantidad de COS variaron con la edad, pero estas variables no se asocian en forma directa. Los stocks de $COS_{meq0-50}$ en la plantación de 9 años fue de $238,43 \pm 13,74 \text{ Mg C ha}^{-1}$, en la de 13 años fue de $182,97 \pm 11,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$, en la plantación de 15 años fue de $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la plantación de 19 años fue de $27,02 \pm 3,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la de 21 años.

Palabras claves: *carbono orgánico del suelo, secuestro de C, Pinus radiata, cronosecuencia*

1. INTRODUCCION

Existe evidencia inequívoca de que las concentraciones del dióxido de carbono (CO_2) han aumentado en los últimos siglos (Meinshausen et al., 2017), alcanzando las 410 ppm en el año 2019 (WMO, 2021). Frente a este escenario se plantean dos estrategias para reducir su cantidad en la atmósfera: por un lado, reducir o evitar las emisiones y por otro aumentar el secuestro de carbono. Los bosques implantados tienen un gran potencial como sumideros de CO_2 por su absorción y transformación en biomasa aérea y subterránea, a la vez que liberan oxígeno a la atmósfera. Se ha demostrado que estos ecosistemas contribuyen notablemente a la mitigación del cambio climático ya que pueden secuestrar más C que otros ecosistemas terrestres (Dixon et al., 1994). Además de la biomasa, el suelo es un gran reservorio de C: almacena al menos el doble del C contenido en la atmósfera más la vegetación viva juntas (Schlesinger, 1984; Post y Kwon, 2000), y puede funcionar como fuente y sumidero de CO_2 atmosférico, generando un impacto importante en el balance global según su manejo (Ordóñez et al., 2001). En el suelo el carbono orgánico (COS) se encuentra en la materia orgánica. Existen varios factores que controlan los stocks de COS, como la textura (Dexter, 2004; Zhou et al., 2019) y la edad de la plantación forestal. En cuanto a este último, los estudios muestran resultados variables. En general, el COS disminuye en los primeros cinco años posteriores a la forestación, seguido de un período de recuperación para alcanzar un máximo cuando las rotaciones son de 20-50 años (Paul et al., 2002). Como las variaciones en los stocks de COS no se registran en el corto plazo, surge la necesidad de analizar cronosecuencias (Smal et al., 2019; Zhang et al., 2019; Zhao et al., 2014). El objetivo de este trabajo fue cuantificar las concentraciones y los stocks de COS en rodales de *Pinus radiata* del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, en una secuencia de edad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos, ubicados en la

¹ Instituto de Suelos, CIRN, INTA Castelar. Mail: lupi.ana@inta.gob.ar

² AER 9 de Julio, EEA Pergamino. Mail: ferrere.paula@inta.gob.ar



región SE de la provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre plantaciones de *Pinus radiata*. Esta región está contenida en la provincia pampeana, ecorregión Pampa (Apoadaca et al., 2015), y presentan un clima clasificado como Cfb, templado según Köppen-Geiger. En el SE de Buenos Aires, la mayor parte de las plantaciones comerciales de *Pinus radiata* se localizan en la cadena de Sierras de Tandil donde los suelos se clasifican como Argiudoles, con altos niveles de COS, de textura superficial franco limosa, someros (30-60 cm de profundidad efectiva) y en menor medida conforman bosques de protección sobre las dunas de la costa atlántica. Para el estudio se identificaron rodales en un primer ciclo forestal (no se disponen sitios con más de una rotación en la región) con edades de 9, 13, 15, 19 y 21 años. A excepción del rodal de 19 años que se localiza sobre una duna costera y reemplazó la vegetación marítima, los restantes se localizan sobre suelos Argiudoles que reemplazaron pastizales naturales. En general, las plantaciones tienen alta densidad (1 111 plantas ha⁻¹ a 1 666 plantas ha⁻¹) y un manejo forestal deficiente: sin podas y sin raleos que propicien un mayor tamaño individual por árbol para la obtención de productos para aserrado.

Se establecieron entre 4-6 parcela forestales y en ellas se tomaron muestras para conformar una compuesta en cada una de las profundidades: 0-10 cm, 10-25 cm y 25-50 cm. Se determinó la concentración de COS mediante el método de combustión seca. Para cada profundidad se determinó la densidad aparente (método del cilindro con un volumen de 100 cm³). Con los valores de concentración de COS y densidad aparente se calculó la masa de COS (Mg ha⁻¹) por estrato y el stock de carbono (SCO) hasta los 50 cm de profundidad corrigiendo a masa equivalente de suelo con la siguiente ecuación (1) (Sisti et al., 2004).

$$\text{COS}_{\text{meq}} = \sum_{i=1}^{n-1} \text{COT}_i + [\text{MT}_n - (\sum_{i=1}^n \text{MT}_i - \sum_{i=1}^n \text{MS}_i)] \text{COT}_n \quad (1)$$

Donde el COS_{meq} es el stock de carbono orgánico (Mg ha⁻¹) a la profundidad donde la masa de suelo es la misma del perfil de referencia; \sum de COT_i (de i hasta $n-1$) es la suma de carbono orgánico (Mg ha⁻¹) del primer estrato de suelo hasta el penúltimo estrato $n-1$ del perfil, MT_n es la masa de suelo total del perfil de un tratamiento, MT_i es la suma de la masa de suelo del estrato 1 (superficial) al “ n ” (estrato más profundo) en el perfil del suelo de un determinado tratamiento, MS_i es la suma de la masa de suelo desde el estrato superficial al “ n ” (estrato más profundo) en el perfil de referencia, COT_n es la concentración de carbono (Mg C Mg⁻¹ suelo) del último estrato de suelo del perfil del tratamiento.

La concentración y la cantidad de COS se analizaron a través de ANOVA y test de Tukey ($p < 0,05$). Se establecieron relaciones entre la cantidad y la concentración de COS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución vertical de la concentración de COS decrece con la profundidad del perfil (Cuadro 1). Este patrón es el comúnmente reportado en otras investigaciones (Zhang et al 2019; Zhao et al., 2014) y responde al hecho de que los aportes orgánicos ocurren principalmente en la superficie por la acumulación de mantillo de las plantaciones (Liu et al., 2016; Jobbágy y Jackson, 2003). Los valores de concentración de COS hallados en nuestro estudio en los rodales de 9, 13, 15 y 21 años, establecidos en Argiudoles son comparables a los informados por Rodríguez et al. (2015) en la misma región con pastizales naturales y plantaciones de acacia. Estas altas concentraciones se transforman en altas reservas de COS (Grimm et al., 2008). En términos generales, las concentraciones de COS variaron significativamente entre rodales ($P < 0,05$). Para todas las profundidades la concentración más baja se encontró en el rodal de 19 años, en tanto que las más altas en los rodales de 9, 13 y 21 años.

El comportamiento del stock de COS fue similar al observado en la concentración. La cantidad de COS en los primeros 50 cm de suelo la profundidad fue mayor en los rodales de 9 y 21 años, el rodal de 13 años acumuló más cantidad de COS que el rodal de 15 años en tanto que el rodal de 19 años presentó la menor cantidad de COS. Los menores valores en las concentraciones y en la cantidad de COS en el rodal de 15 años con respecto al de 13 puede explicarse por el retiro sistemático de mantillo que realizaron los propietarios para otros usos (vivero o compostaje). En la plantación de 19



años la textura del suelo es el factor que determina la menor concentración y stock de C. La capacidad de reserva o almacenamiento de COS del suelo también depende de factores como la composición mineralógica y la textura (Wang y Liu, 2013; Jandl et al., 2007); teniendo los suelos de textura arenosa una menor capacidad para proteger y estabilizar compuestos orgánicos en su superficie mineral, lo cual afecta la magnitud y tasa de secuestro de COS (Feng et al., 2103). Por el contrario, en suelos como los Argiudoles, donde aumenta la proporción de la fracción arcilla o la fracción limo más arcilla aumenta la acumulación de COS por la protección que ejercen estas partículas sobre la fracción orgánica por procesos de adsorción, oclusión y agregación (Anderson y Paul 1984). Esto hace que diferentes tipos de suelo muestren capacidades diferenciales para el secuestro de COS debido al potencial inherente del suelo para retenerlo. El stock de COS en los primeros 10 cm de suelo representa el 23,6 %, 28,3 %, 32,1 %, 34,0 % y 28,6 % del COS hallado en la profundidad 0-50 cm, para las edades 9, 13, 15, 19 y 21 años respectivamente.

Cuadro 1. Concentración y stock de carbono orgánico del suelo en las profundidades 0-10, 10-25 y 25-50 cm, en rodales de *P. radiata* de 9, 13, 15, 19 y 21 años

	Edad				
	9	13	15	19	21
Concentración de COS (g kg⁻¹)					
0-10 cm	63,5±2,5 c	60,5±3,7 c	37,0±2,1 b	8,1±0,1 a	64,8±4,8 c
10-25 cm	49,5±3,0 c	41,1±2,7c	24,3±0,9 b	4,5±0,7 a	47,2±3,0 c
25-50 cm	35,9±3,7c	23,0±2,5 b	10,9±1,1 a	2,9±0,6 a	26,3±2,8 bc
Cantidad de COS (Mg ha⁻¹)					
0-10 cm	64,30±3,40 c	53,56±4,69 bc	39,25±2,41 b	12,2±1,59 a	63,58±6,08 c
10-25 cm	87,14±4,31 c	66,09±6,79 bc	47,61±1,38 b	11,33±1,6 a	80,88±5,63 c
25-50 cm	120,68±12,09 d	69,36±7,21 cb	35,52±3,91 a	12,37±2,48 a	78,03±9,29 c
0-50 cm	272,1±16,91 d	189,00±13,76 c	122,00±5,88 b	35,90±5,45 a	222,50±15,08 cd

Letras distintas reflejan diferencias estadísticamente significativas a $p < 0,05$ para una misma profundidad. El valor seguido de \pm es el error estándar.

Cuando los datos se expresan en masa equivalente, la cantidad de COS_{meq} en la profundidad 0-50 cm no se correlacionó con la edad ($r: -0,45; p>0,05$), pero varió significativamente entre los rodales ($p<0,05$). Fue más alto en la plantación de 9 años ($238,43\pm13,74$ Mg C ha⁻¹), 13 ($182,97\pm11,78$ Mg C ha⁻¹) y 21 años ($210,57\pm12,16$ Mg C ha⁻¹), intermedio en la plantación de 15 años ($210,57\pm12,16$ Mg C ha⁻¹) y menor en el rodal de 19 años ($27,02\pm3,65$ Mg C ha⁻¹). La cantidad de COS_{meq} almacenado en el sitio de 19 años en la duna marítima fue 6,8 veces menor al promedio de COS en los suelos Argiudoles

Nuestros resultados no coinciden con lo reportado por Smal et al. (2019), Lei et al. (2019) y Ecclesia et al. (2012), para plantaciones de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus sylvestris* y *Acacia Mangium*, donde muestran un aumento significativo en el contenido de COS con la edad del rodal. Por el contrario, concuerdan con lo reportado por Peichl y Arain (2006). Si bien el rango de edad de las plantaciones de *Pinus strobus* en que trabajaron los autores (2 a 65 años) fue mayor al de nuestro estudio, encontramos que el COS no se correlaciona con la edad del rodal.

En nuestro estudio, en los rodales de 9, 13 y 15 años, establecidos sobre suelos Argiudoles, se observa que las reservas de COS disminuyen con el aumento de la edad. El efecto de la edad de la plantación sobre la acumulación de COS es un aspecto ampliamente discutido por los resultados divergentes que se reportan. Algunos estudios indican que no se observan incrementos significativos en el COS con la edad del rodal (Peichl y Arain 2006; Paul et al., 2002), otros refieren aumentos en la



primera década después de la forestación (Pregitzer y Euskirchen, 2004; Hooker y Compton, 2003). Finalmente, estudios como los de Smal et al. (2019); Perez-Cruzado (2011) y Tang et al. (2009), reportan incrementos a partir de los 10-15 años. Esta discrepancia puede ser atribuida a diferencias en el clima, textura, especies y manejo aplicado, usos previos e inclusive en la edad más avanzada de los rodales en que se desarrollaron los estudios (Jandl et al., 2007). Se encontró una fuerte relación entre la concentración de COS en el estrato 0-10 cm y el stock de $COS_{meq0-50}$ lo que permitiría contar con una herramienta simple y práctica para estimar las reservas de carbono orgánico del suelo hasta los 50 cm.

$$COS_{meq0-50} = 33,037 * (\text{concentración de } COS_{meq0-10}) + 0,5815; R^2 = 0,91]$$

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo la concentración y la cantidad de COS variaron con la edad de la plantación. Para los sitios con forestaciones de *Pinus radiata* y el rango de edades estudiadas, la edad de la plantación no fue un factor que influyó en la concentración ni en las cantidades de COS almacenado. La cantidad de $COS_{meq0-50}$ en la plantación de 9, 13, 15, 19 y 21 fue de $238,43 \pm 13,74 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $182,97 \pm 11,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $27,02 \pm 3,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente.

5. AGRADECIMIENTOS

A Vicente Nakama, Adelqui Alfieri, Luis Gomez, Pablo Cuenca, Norberto Fernandez por el apoyo en las actividades de campo. A Ingrid Kaufman por la colaboración brindada. El proyecto ha sido parcialmente financiado por el Proyecto Forestal de Desarrollo y el Proyecto nacional INTA PNFOR2215.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, D.W.; PAUL, E.A. 1984. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil Science Society of America Journal, 48(2), 298-301.
- APODACA, M.J.; CRISCI, J.V.; KATINAS, L. 2015 Las provincias fitogeográficas de la República Argentina: definición y sus principales áreas protegidas. In: El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina, vol 1. Editorial Dunken, Argentina, pp 79–101
- DIXON, R.K.; SOLOMON, A.M.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; TREXIER, M.C.; WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263(5144), 185-190.
- ECLESIA, R.P.; JOBBAGY, E.G.; JACKSON, R.B.; BIGANZOLI, F.; PIÑEIRO, G. 2012. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. Global Change Biology, 18(10), 3237-3251.
- FENG, W.T.; PLANTE, A.F.; SIX, J. 2013. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. Biogeochemistry 112, 81–93.
- GRIMM, R.; BEHRENS, T.; MARKERA, M.; ELSENBEEER, H. 2008. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island — Digital soil mapping using Random Forests analysis. Geoderma, 146(1-2), 102-113.
- HOOKEER, T.D.; COMPTON, J.E. 2003. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. Ecol Appl 13:299–313.
- JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.W.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K.A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?, Geoderma, Volume 137, Issues 3–4, 253-268, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>.
- JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry 64:205-229.
- LEI, Z.; YU, D.; ZHOU, F.; ZHANG, Y.; YU, D.; ZHOU, Y.; HAN, Y. 2019. Changes in soil organic carbon and its influencing factors in the growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in Horqin Sandy Land, Northeast



- China. Scientific reports, 9(1), 1-12.
- LIU, L.; HU, Y.; WANG, Q.; WANG, H.; ZHANG, J.; WANG, C.; ZHAO, Z. 2016. Structure characters of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural forest on sandy land. *Forest Research*, Beijing, 29(5), 623-629.
- MEINSHAUSEN, M.; VOGEL, E.; NAUELS, A.; LORBACHER, K.; MEINSHAUSEN, N.; ETHERIDGE, D.M.; FRASER, P.J.; MONTZKA, S.A.; RAYNER, P.J.; TRUDINGER, C.M.; ET AL. 2017. Historical greenhouse gas concentrations for climate modelling (CMIP6). *Geosci. Model Dev.* 2017, 10, 2057–2116.
- ORDÓÑEZ, B.; DE JONG, H.J.; MASERA, O.. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrabus*, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47
- POST, W.M.; KWON, K.C. 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology* 6, 317–328.
- PAUL, K.I.; POLGLASE, P. J.; NYAKUENGAMA, J. G.; KHANNA, P.K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest ecology and management*, 168(1-3), 241-257.
- PEICHL, M.; ARAIN, M.A. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agric. For. Meteorol.* 140, 51–63.
- PREGITZER, K.S.; EUSKIRCHEN, E.S. 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Glob Chang Biol* 10:2052–2077
- RODRIGUEZ, S.; VIDELA, C.; ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; POSE, N.N.; MACEIRA, N.O. 2015. Cambios en propiedades químicas de un suelo Molisol de la Región Pampeana argentina con diferente historia de manejo. *Chil. J. Agric. Anim. Sci.*, 31, 137-148.
- SCHLESINGERT, W.H. 1984. The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: Measurement by Remote Sensing. Edited by GM Woodwell 1984 SCOPE. Published by John Wiley & Sons Ltd. CHAPTER 4 Soil Organic Matter: a Source of Atmospheric CO₂. 111-127.
- SMAL, H.; LIGEZA, S.; PRANAGAL, J.; URBAN, D.; PIETRUCZYK-POPŁAWSKA, D. 2019 Changes in the stocks of soil organic carbon, total nitrogen and phosphorus following afforestation of post-arable soils: A chronosequence study. *Forest Ecology and Management*. 451(1), 117536. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117536>
- SISTI, C.P.; DOS SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and tillage research*, 76(1), 39-58.
- TANG, J.W.; BOLSTAD, P.V.; MARTIN, J.G. 2009. Soil carbon fluxes and stocks in a Great Lakes forest—chronosequence. *Glob Chang Biol* 15:145–155
- WANG, Y.; LIU, Z. 2013. Vertical distribution and influencing factors of soil water content within 21-m profile on the Chinese Loess Plateau. *Geoderma*, 193, 300-310.
- WMO, 2021. State of the Global Climate 2020. WMO- No. 1264. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618
- ZHANG X.; XUELI Z. H.; HUI, H.; ZHONGJIE, S; XIAOHUI, Y. 2019. Biomass Accumulation and Carbon Sequestration in an Age-Sequence of Mongolian Pine Plantations in Horqin Sandy Land, China. *Forests* 2019, 10, 197; doi:10.3390/f10020197
- ZHAO, J.; KANG, F.; WANG, L.; YU, X.; ZHAO, W.; SONG X, ET AL. 2014. Patterns of Biomass and Carbon Distribution across a Chronosequence of Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*) Forests. *PLoS ONE* 9(4): e94966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094966>
- ZHOU, W.; HAN, G.; LIU, M.; LI, X. 2019. Effects of soil pH and texture on soil carbon and nitrogen in soil profiles under different land uses in Mun River Basin, Northeast Thailand. *PeerJ* 7:e7880 DOI 10.771



BIOMASA EN UNA CRONOSECUENCIA DE PLANTACIONES DE *Pinus radiata* (D. DON), EN LA REGIÓN PAMPEANA, ARGENTINA

Paula FERRERE¹ y Ana María LUPI²

RESUMEN

Las prácticas como la forestación y la reforestación podrían tener un gran impacto en el secuestro de CO₂. El objetivo de esta investigación fue cuantificar la biomasa en diferentes componentes de plantaciones de *Pinus radiata* de diferentes edades, localizadas en el SE de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Para el estudio se identificaron rodales en un primer ciclo forestal con edades de 9, 13, 15, 19 y 21 años. El rodal de 19 años se localiza sobre una duna costera y los restantes sobre suelos Argiudoles someros en Sierras de Tandil. En general, las plantaciones tienen alta densidad (1 111 plantas ha⁻¹ y 1 666 plantas ha⁻¹). Se establecieron parcelas para caracterizar el estado del rodal y se realizó un muestreo destructivo de 42 árboles. La biomasa aérea y la biomasa de raíz fueron de 36,55 y 12,95 Mg.ha⁻¹ en los rodales de 9 años y de 187,19 y 39,62 Mg.ha⁻¹ a los 21 años. Los resultados sugieren que existe un potencial regional interesante para el secuestro de C en la biomasa aérea de las plantaciones de *Pinus radiata* y la generación de una actividad económica poco desarrollada en la zona.

Palabras claves: biomasa aérea, biomasa de fuste, biomasa de raíz, secuestro de C

1. INTRODUCCION

Una de las principales consecuencias de la pandemia en el mundo ha sido la de concientizarnos acerca de que el cambio climático (CC) es un hecho. Las temperaturas del aire y del océano han aumentado debido al efecto invernadero que provocan los gases que se acumulan en la atmósfera terrestre. Debido a que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero (GEI) antropogénico, aumentar el secuestro de carbono mediante plantaciones forestales podría ser una estrategia para disminuir la concentración de carbono del aire (Keller et al., 2018). La biomasa es el depósito del C en los ecosistemas forestales (Fahey et al., 2010). Para determinar los stocks de C a nivel de sistema se requiere cuantificar la biomasa de cada componente. En el caso de una plantación se requieren ecuaciones de biomasa de las distintas fracciones del árbol. Para comprender el funcionamiento de los sistemas forestales y definir estrategias de manejo efectivas desde el punto de vista productivo y de los inventarios de C se requieren estimaciones o mediciones de todos los compartimentos del sistema. Es en este sentido que el estudio de los patrones de acumulación de biomasa durante el desarrollo de un sistema forestal fue mostrando un interés cada vez mayor por el rol estratégico que cumplen las plantaciones en el secuestro de C atmosférico. Sin embargo, a nivel regional no se disponen herramientas para su estimación y cuantificaciones que permitan orientar sobre el potencial de estos ecosistemas cuando reemplazan otros usos del suelo. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la biomasa almacenada en plantaciones de *Pinus radiata* de diferentes edades, del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos, ubicados en la región SE de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El clima de la zona se clasificó según Köppen-Geiger como Cfb, definido como templado, con precipitaciones durante todos los meses del año y temperaturas medias del mes más cálido, inferior a los 22 °C.

¹ AER 9 de Julio, EEA Pergamino. Mail: ferrere.paula@inta.gob.ar

² Instituto de Suelos, CIRN, INTA Castelar. Mail: lupi.ana@inta.gob.ar.



Para el estudio se identificaron rodales de *Pinus radiata* en un primer ciclo forestal con edades de 9, 13, 15, 19 y 21 años, y 3 réplicas para cada edad. A excepción del rodal de 19 años que se localiza sobre una duna costera y reemplazó la vegetación marítima, los restantes se localizan sobre suelos Argiudoles que reemplazaron pastizales naturales. En general, las plantaciones tienen alta densidad, con espaciamientos iniciales de 2 m x 3 m (1666 plantas ha⁻¹) y 3 m x 3 m (1111 plantas ha⁻¹), con un manejo forestal deficiente, sin podas ni raleos que propicien un mayor tamaño individual por árbol para la obtención de productos para aserrado. En cada rodal se establecieron entre 3-6 parcelas de inventario de 400 m². Dentro de cada parcela se relevó el diámetro a la altura del pecho (dap; cm) de todos los árboles y la altura de los 4 árboles más gruesos, el árbol de dap medio y el árbol de menor dap. El modelo para la estimación de la altura del árbol individual (h;m) se ajustó con 219 pares dap-altura provenientes de distintos sitios y edades y tuvo la siguiente forma:

$$\ln h : -0,1841 + 0,35416 * \ln(dap) + 0,60322 * \ln(edad) \quad [1]$$

Para la estimación del volumen (v; m³) en cada árbol de la parcela se empleó ecuación 2:

$$v = -0,0093 + 0,00003521 * (dap2h) \quad [2]$$

Para cada individuo, el volumen se multiplicó por la densidad básica de la madera para obtener el peso del árbol (kg). La densidad se obtuvo a partir de un muestreo de 21 árboles. Se tomaron muestras de madera a 1,30 m con barrenos de Pressler. Para estimar la biomasa de hojas y ramas se realizó un muestreo destructivo de los 42 árboles. En cada árbol se midió el diámetro en la base de todas las ramas (dr). Se seleccionó al azar una rama por verticilo, se pesó por separado in situ la biomasa de hojas y ramas, y se preparó una submuestra de cada compartimento para secar en estufa a 65 °C hasta peso constante. Posteriormente se calculó el peso seco de las ramas muestreadas. Se ajustaron los siguientes modelos para la estimación de biomasa de hojas y ramas (kg), en función del diámetro de cada rama (dr; cm):

$$\ln MS \text{ ramas} = 2,72618 + 2,84436 * \ln(dr) \quad R^2_{aj}: 0,91 \quad [3]$$

$$\ln MS \text{ hojas} = 3,15001 + 1,83651 * \ln(dr) \quad R^2_{aj}: 0,75 \quad [4]$$

A partir de los datos de las ecuaciones [3] y [4] se estimó un valor de biomasa de hojas y ramas, cuya sumatoria constituye la biomasa total de hojas y ramas de cada árbol. Con dichos valores se ajustaron relaciones alométricas para estimar las fracciones de biomasa de hojas y ramas a partir del dap en cada árbol:

$$\ln MS \text{ ramas} = 4,1151 + 1,54295 * \ln(dap) \quad R^2_{aj}: 0,59 \quad [5]$$

$$\ln MS \text{ hojas} = 2,36456 + 2,41072 * \ln(dap) \quad R^2_{aj}: 0,68 \quad [6]$$

Para la estimación de la biomasa en raíces se muestrearon 24 árboles distribuidos en clases diamétricas. El muestreo de raíces se realizó con una excavadora y se completó con pico y pala desenterrando raíces de hasta 1 cm de diámetro, hasta los 40 cm de profundidad o hasta donde se presenta la tosca en caso de su presencia. Se limpiaron, se pesaron en una báscula a campo (precisión de 1 kg) y se reservó una muestra para determinar la materia seca (65 °C hasta peso constante). Se ajustó un modelo de la siguiente forma

$$\ln MS \text{ raiz} = -3,33785 + 2,12634 * \ln(dap) \quad R^2_{aj}: 0,88 \quad [7]$$

La biomasa total a nivel de rodal fue calculada a partir de la sumatoria de la biomasa aérea (hojas + ramas + fuste) y subterránea de cada árbol en las parcelas muestreadas y extrapoladas a la superficie de la hectárea.

$$BT = \sum_{i=n}^n [BH + BRa + BF + BR] \quad [8]$$

donde: BT: biomasa total (Mg.ha⁻¹), BH: biomasa de hojas (Mg.ha⁻¹), BF: biomasa de fuste (Mg.ha⁻¹), BRa: biomasa de ramas (Mg.ha⁻¹) y BR: biomasa de raíces (Mg.ha⁻¹). La cantidad de C se calculó asumiendo que el 50% de la biomasa es C (IPCC, 2006).



Para evaluar las diferencias de cada variable se aplicó análisis de varianza (ANOVA) y cuando las diferencias fueron significativas se aplicó el test de Tukey al nivel de significancia de 0,05. Se realizaron también análisis de correlación de Pearson. Para estos análisis y para desarrollar las ecuaciones alométricas se empleó el paquete de software Infostat (versión libre 2008).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con las ecuaciones de la Tabla 1 se estimó la biomasa de cada componente (hojas, ramas y raíces) para cada rodal. La biomasa total, la biomasa aérea y la biomasa de raíz en los rodales de 9 años fueron de 49,49; 36,55 y 12,95 Mg.ha⁻¹ respectivamente y resultaron significativamente mayores (P<0,05) en los rodales de 21 años, con valores de 226,81, 187,19 y 39,62 Mg.ha⁻¹. La biomasa del fuste varió de 24,80 a 147,92 Mg.ha⁻¹ desde los 9 a los 21 años. La biomasa en hojas varió (P<0,05) desde los 9 a los 13 años, pero los incrementos no fueron significativos entre los 13 y 21 años. En este componente la biomasa pasó de 3,50 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 9 años a 8,99 y 9,35 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 13 y 21 años. Para la biomasa en ramas, hubo diferencias significativas (P<0,05) entre los 9 y 13 años, pero no se detectaron cambios a edades mayores. En esta fracción la biomasa fue de 8,25 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 9 años, en tanto que fue de 25 y 29,9 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 13 y 21 años. La biomasa de todos los componentes del árbol no fue diferente (P>0,05) entre los rodales de 13, 15 y 19 años. A su vez, no se observan diferencias significativas entre los rodales de 19 y 21 años.

Tabla 1. Biomasa -Mg ha⁻¹- de los componentes del ecosistema (valores medios y error estándar). Letras distintas reflejan diferencias estadísticamente significativas a p < 0,05.

Fracciones	Edad (años)				
	9	13	15	19	21
Aérea	36,55±4,39 a	112,51±13,77 b	133,23±2,28 bc	157,91±18,40 bc	187,19±33,6 c
Hojas	3,50±0,35 a	8,99±0,1 b	8,69±0,20 b	9,41±0,62 b	9,35±1,04 b
Ramas	8,25±1,34 a	22,34±0,06 b	24,10±0,40 b	26,69±3,31 b	29,94±3,09 b
Fuste	24,80±2,71 a	81,18±1,72 b	100,44±1,67 b	121,82±4,84 bc	147,92±5,26 c
Raíces	12,95±0,88 a	31,36±0,74 b	32,09±0,91 b	36,31±3,56 b	39,62±3,47 b
Total	49,49±84,89a	143,87±2,60 b	165,32±3,12 bc	194,22±31,96bc	226,81±22,79c

La proporción de la biomasa de cada componente en relación a la biomasa total, para cada edad varió levemente en el ciclo de edades analizadas. El patrón de asignación por componente fue hojas<ramas<raíz<fuste. Para los componentes raíz y hojas se observó una reducción en la proporción con la edad. La proporción para la fracción hojas fue de 7,07 % a los 9 años y de 4,9 % a los 21 años, para las ramas se mantuvo similar (16,9 % aproximadamente) y en el caso de la raíz cambió de 26,17 % a 17,47 % entre los 9 a 21 años. Por el contrario, la proporción de biomasa en el fuste cambió del 50,11% a 79,02 % de los 9 a los 21 años respectivamente. La proporción biomasa de raíz/biomasa de fuste fue de 52 %, 38 %, 32 %, 30 % y 27 % a los 9, 13, 15, 19 y 21 años respectivamente.

Los resultados muestran que la biomasa de los rodales de *Pinus radiata* evaluados en nuestro estudio es inferior a los valores informados por Álvarez et al. (2013) para esta misma especie cultivada en Chile.

La edad es el factor más importante que afecta la magnitud y distribución de la biomasa en el sistema forestal (Peichl y Arain 2006; Lee et al., 2016). En la cronosecuencia estudiada, la biomasa de todos los componentes aumenta de la edad del rodal (Tabla 2) y esto fue consistente con los resultados informados en estudios previos sobre otras coníferas (Zhang et al., 2019; Lee et al., 2016). Otros estudios realizados en España en plantaciones de *Pinus radiata* también muestran el efecto de la edad sobre la magnitud de la biomasa (Merino et al., 2003). Dichos autores reportan valores de 149 Mg ha⁻¹ en un rodal de 19 años y 170,6 Mg ha⁻¹ y 139,4 Mg ha⁻¹ en rodales de 20 años. Estos valores son comparables a los reportados en nuestros rodales de 21 años y superiores si se comparan con el rodal



de 19 años. Las diferencias podrían atribuirse a las diferencias en la fertilidad del suelo. Mientras los autores trabajaron sobre un suelo de textura franco-arenosa, en nuestro caso el rodal de 19 años se localizó sobre una duna.

Los cambios en la proporción de la biomasa de hojas y ramas con la edad del rodal son menores a los reportados Zhang et al. (2019), posiblemente debido a que en nuestro trabajo no se incluyeron plantaciones en estadios iniciales, donde las componentes hojas y ramas tienen una mayor importancia. La variación en la proporción de la biomasa del fuste en relación a la biomasa aérea fue inferior a lo reportado por Muñoz Riveros et al. (2005) en un estudio realizado en una plantación de 42 años de *Pinus radiata* en Chile, donde la proporción fue del 89 %. Las diferencias pueden ser atribuidas a la menor edad de las plantaciones evaluadas en nuestro estudio. Zhang indica que para *P. palustris* la variación fue del 22 % al 54 % desde los 12 a los 58 años.

Dada la complejidad y laboriosidad del muestreo es frecuente estimar la biomasa de raíz a partir de la relación biomasa raíz/ biomasa de fuste tomando un factor de 0,20 (Birdsey, 1993; Brown et al., 1993). En nuestro trabajo la relación biomasa raíz/fuste descendió con el aumento de la edad del rodal desde 0,52 a 0,27, como resultado de la fuerte acumulación de biomasa en el fuste. Gholz y Fisher (1982) también determinaron que la proporción biomasa de raíz gruesa/biomasa de fuste disminuyó con el aumento de la biomasa aérea de *Pinus elliotii*. Para plantaciones jóvenes de *P. taeda* (7 a 18 años) Albaugh et al. (2006) informan una proporción del 50 %, valor similar a lo hallado en el rodal de 9 años de nuestro trabajo.

Assumiendo que la mitad de la biomasa es C, la tasa de acumulación de C en la biomasa aérea fue de 2,0; 4,3; 4,4; 4,1 y 4,5 Mg C.ha⁻¹.año⁻¹, para las plantaciones de 9, 13, 15, 19 y 21 años respectivamente. Estos valores son comparables a los reportados por Balboa-Murias et al. (2006) para plantaciones de *Pinus radiata* en España. Según los autores la tasa de secuestro de carbono en la biomasa total de árboles en toda la rotación osciló entre 3,4 Mg C. ha⁻¹ año⁻¹ a 5,9 Mg C. ha⁻¹ año⁻¹, siendo la densidad inicial, la calidad de sitio y el manejo forestal las causas de dicha variación. Como se observa, la tasa de acumulación de C no difiere sustancialmente a partir de los 13 años.

En un análisis simplificado se podría pensar que con un turno de 13 o 15 años se maximiza la tasa de secuestro de C en el sistema. Sin embargo, en términos de un manejo forestal que considere la generación de bienes y servicios, definir un turno de 21 años y que la producción de madera se destine al aserrado, determinará la permanencia del carbono por más tiempo en comparación con lo que sucedería en un aprovechamiento temprano, donde la biomasa se destinaría a dendroenergía o triturado.

4. CONCLUSIONES

Para todas las edades analizadas, el patrón de asignación de la biomasa por componente de *Pinus radiata* fue hojas<ramas<raíz<fuste. La edad de la plantación se asoció fuertemente con la biomasa aérea del árbol. La biomasa total del rodal, la biomasa aérea y la biomasa de raíz fue de 49,49; 36,55 y 12,95 Mg.ha⁻¹ en los rodales de 9 años y de 226,81; 187,19 y 39,62 Mg.ha⁻¹ a los 21 años. La biomasa del fuste varió de 24,80 a 147,92 Mg.ha⁻¹ desde los 9 a los 21 años. La biomasa en hojas pasó de 3,50 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 9 años a 9,35 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 21 años. La biomasa en ramas fue de 8,25 Mg. ha⁻¹ en el rodal de 9 años, en tanto que fue de 29,94 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 21 años.

5. AGRADECIMIENTOS

A Vicente Nakama, Adelqui Alfieri, Luis Gomez, Pablo Cuenca, Norberto Fernandez por el apoyo en las actividades de campo. A Ingrid Kaufman por la colaboración brindada. El proyecto ha sido parcialmente financiado por el Proyecto Forestal de Desarrollo y el Proyecto nacional INTA PNFOR 2215.

6. BIBLIOGRAFIA

ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H.L.; KRESS, L.W. 2006. Root and stem partitioning of *Pinus taeda*. *Trees*, 20: 176–185. doi:10.1007/s00468-005-0024-4.



- ÁLVAREZ, J.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; STAPE, J. L.; BULLOCK, B. P.; SONG, C. 2013. Factors influencing the growth of radiata pine plantations in Chile. *Forestry*, 86(1), 13-26.
- BALBOA-MURIAS, MA; R. RODRÍGUEZMURIAS, MA; R. RODRÍGUEZ-SOALLEIRO; A. MERINO; JG. ÁLVAREZSOALLEIRO; A. MERINO; JG. ÁLVAREZ-GONZÁLEZ. 2006. Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural alternatives. *For. Ecol. and Manage*, 237(1-3), 29-38.
- BIRDSEY, R. A.; PLANTINGA, A. J.; HEATH, L. S. 1993. Past and prospective carbon storage in United States forests. *Forest Ecology and Management*, 58(1-2), 33-40.
- BROWN, S.; IVERSON, L.R.; PRASDA, A.; LIU, D. 1993. Geographical distributions of carbon in biomass and soils of tropical Asian forests. *Geocarto Int.* 8: 45–59. doi:10.1080/10106049309354429
- FAHEY, T.J.; WOODBURY, P.B.; BATTLES, J.J.; GOODALE, C.L.; HAMBURG, S.P.; OLLINGER, S.V.; WOODALL, C.W. 2010. Forest Carbon storage: Ecology, management, and policy. *Front. Ecol. Environ.* 2010, 8, 245–252.
- GHOLZ, H.L.; FISHER, R.F. 1982. Organic matter production and distribution in slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. *Ecology*, 63: 1827–1839. doi:10.2307/1940124
- KELLER, D.P.; LENTON, A.; LITTLETON, E.W.; OSCHLIES, A.; SCOTT, V.; VAUGHAN, N.E. 2018. The effects of carbon dioxide removal on the carbon cycle. *Curr. Clim. Chang. Rep.* 4, 250–265
- LEE, J.; TOLUNAY, D.; MAKINECI, E.; CÖMEZ, A.; SON, Y.M.; KIM, R.; SON, Y. 2016. Estimating the age-dependent changes in carbon stocks of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Turkey. *Ann. For. Sci.* 2016, 73, 523–531.
- MERINO, A.; REY, C.; BRAÑAS, J.; R RODRIGUEZ-SOALLEIRO. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantación de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12 (2) 85-98.
- ZHANG, X.; HAN, H.; SHI, Z.; YANG, X. 2019. Biomass Accumulation and Carbon Sequestration in an Age-Sequence of Mongolian Pine Plantations in Horqin Sandy Land, China. *Forests* 2019, 10, 197; doi:10.3390/f10020197



VOLUMEN DE SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE *Cordia trichothoma* POR MINIESTACAS

Renata Smith AVINIO¹, Junior Oliveira MENDES², Thaíse da Silva TONETTO³, Kelen Haygert LENCINA⁴, Denise GAZZANA⁵, Luciane Grendene MACULAN⁶, Angélica Costa MALHEIROS⁷, Dilson Antônio BISOGNIN⁸

RESUMEN

El volumen del sustrato puede influir en el enraizamiento de las miniestacas y la calidad de las plántulas. Así, el objetivo fue estudiar el efecto del volumen del sustrato en el enraizamiento adventicio de miniestacas y calidad de los plantines de *Cordia trichotoma*. Se evaluaron dos volúmenes de sustratos 50 y 110 cm³. Luego de 30 días de cultivo en cámara húmeda, se evaluó el porcentaje de enraizamiento, número y longitud de las tres raíces más grandes. La calidad de los plantines se evaluó a los 120 días en una casa de sombra, considerando diámetro del tallo, altura, número de hojas, índice de calidad de Dickson. Además, se evaluó la morfología de las raíces con el software WinRhizo, midiendo el largo de raíces, área de superficie de raíz, largo de raíz por clase de diámetro, diámetro medio de la raíz y volumen. Los resultados de este estudio arrojaron que el volumen de sustrato no interfirió en el enraizamiento de las miniestacas, sin embargo, los plantines con 110 cm³ presentaron mejor calidad.

Palabras clave: *propagación vegetativa; enraizamiento adventicio; calidad de plántula*

1. INTRODUCCIÓN

Cordia trichotoma (Vell.) Arrab. ex Steud. (Boraginaceae) tiene una amplia distribución en Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay (CARVALHO, 2003). Los individuos de la especie pueden alcanzar hasta 35 m de altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 70 y 90 cm (CARVALHO, 2003). Su madera tiene una gran durabilidad y calidad, tiene un alto valor económico siendo muy utilizada para la fabricación de muebles y revestimientos decorativos (CADORIN et al., 2015).

Así, la especie tiene potencial para la siembra con fines económicos, sin embargo, para establecer estas plantaciones es necesario producir plantines con excelentes características silvícolas. En este sentido, la propagación vegetativa por miniestacas surge como una alternativa, ya que permite la propagación de genotipos de interés, posibilitando un aumento de la uniformidad y productividad de las plantaciones (GIBSON et al., 2021).

Las plantas clonales formadas a partir de estacas tienen limitaciones importantes, esto se debe a que

¹ Estudiante de Maestría del Programa de Posgrado en Ingeniería Forestal, Universidad Federal de Santa María (UFSM), Santa María, RS, Brasil. Contacto: renataavinio@gmail.com.

² Ingeniero forestal. Doctorado en Ingeniería Forestal. Programa de Posgrado en Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María (RS). Correo electrónico: junioromendes@gmail.com

³ Estudiante de posdoctorado en Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: thaisetnetto@hotmail.com.

⁴ Profesor Titular del Departamento de Agricultura y Diversidad de Bosques de Santa Catarina, Brasil. Contacto: khaygert@gmail.com.

⁵ Estudiante de Doctorado en Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: denygazzana@hotmail.com.

⁶ Estudiante de Maestría en Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: lucianemaculan@hotmail.com.

⁷ Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: angelcmalheiros@gmail.com.

⁸ Asesor. Profesor Titular del Departamento de Fitotecnia de la UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: dilson.bisognin@ufsm.br.



el enraizamiento adventicio es un proceso complejo, controlado por un programa de desarrollo complejo (LAKEHAL; BELLINI, 2019). Entre ellos el volumen de sustrato que maximiza el enraizamiento adventicio. Esto se debe a que el tipo de recipiente influye en la cantidad de agua y nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas (GASPARIN et al., 2014) y para las miniestacas en el mantenimiento, la aireación y la humedad. Según Lisboa et al. (2012) el volumen de sustrato adecuado para el crecimiento de plántulas puede variar entre especies, ya que los recipientes más grandes ocupan una mayor área en el vivero y los más pequeños necesitan menor área y menos sustrato lo que contribuye al costo final.

Por lo tanto, es necesario saber si este factor afecta la producción de plantines de *C. trichotoma* para el establecimiento de plantaciones comerciales. El objetivo de este trabajo fue estudiar el volumen de sustrato para el enraizamiento adventicio de miniestacas y la calidad de los plantines de *C. trichotoma*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en cámara húmeda y casa de sombra del Núcleo de Mejoramiento y Propagación Vegetativa (MPVP), en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Federal de Santa María (UFSM), Santa María, Rio Grande do Sul, Brasil, desde noviembre de 2020 hasta junio de 2021.

El minijardín clonal fue establecido en un sistema cerrado de cultivo sin suelo, utilizando arena gruesa como sustrato, las cuales fueron plantadas según la metodología descrita por Bisognin et al. (2017), las plantas matrices de cada clon en bandeja de polipropileno de 20x40x30 cm. Se incorporó diariamente una solución nutritiva compuesta de macro y micronutrientes descrito por Pimentel et al. (2020), suministrada dos veces al día durante 15 minutos con la ayuda de un programador digital y una motobomba sumergida. El pH de la solución nutritiva se mantuvo entre 5,0 y 5,5 y la conductividad eléctrica a $1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, ambos ajustados semanalmente. En el experimento se evaluó dos volúmenes de sustratos, utilizando tubetes de polipropileno de 50 y 110 cm^3 . Los brotes de las plantas matrices fueron seccionados en miniestacas con dos yemas y miniestacas apicales de múltiples yemas, quedando 50% del área fotosintética con el fin de reducir la cantidad de agua transpirada. Se aplicó una solución hidroalcohólica de 3.000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de ácido indolbutírico (IBA) a la base de las miniestacas durante 10 segundos. El sustrato utilizado estuvo compuesto por sustrato comercial y vermiculita (1:1 v/v). El sustrato comercial utilizado en los experimentos fue una mezcla de corteza de pino y cáscara de arroz carbonizada.

Para el enraizamiento adventicio, se realizó en cámara húmeda, se evaluó el porcentaje de enraizamiento, el número y la longitud de las tres raíces más grandes a los 30 días. La calidad de los plantines, se realizó en casa de sombra, se evaluó a los 120 días por el diámetro del tallo, la altura de la parte aérea, el número de hojas y el índice de calidad Dickson (Dickson et al., 1960). La morfología de la raíz se caracterizó a partir de imágenes digitalizadas utilizando el software WinRhizo Pro 2014 (Régent Instr. Inc.), acoplado a un escáner EPSON Perfection V800 Photo equipado con luz adicional (TPU), con una resolución de 600 DPI. Se midieron la longitud de la raíz (cm), el área de la superficie de la raíz (cm^2), la longitud de la raíz por clase de diámetro (cm), el diámetro medio de la raíz (mm) y el volumen (cm^3). Los plantines, en casa de sombra, recibieron cobertura mensual, con 1.000 gramos de sulfato de amonio $[(\text{NH}_4) \text{SO}_4]$ y 300 gramos de cloruro de potasio (KCl) como fertilizante. La fertilización se produjo con la disolución de las sales en agua y el riego de las plantas con la solución.

El experimento se estructuró en un diseño completamente al azar con un número variable de miniestacas por tratamiento, entre 50 a 100, de acuerdo con la disponibilidad de material vegetal. Los datos se sometieron a los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de las varianzas, y después al análisis de varianza utilizando SAS (SAS, 2014). Cuando se verificó la existencia de diferencias significativas en al menos uno de los factores analizados y/o sus interacciones, estas se compararon mediante la prueba de Tukey ($p=0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El test F no mostró diferencia significativa para el volumen de sustrato, para el porcentaje de enraizamiento, número de raíces y longitud de las tres raíces más grandes de las miniestacas (Cuadro



1). Así, el volumen del sustrato no influyó en el enraizamiento de las miniestacas. Por lo tanto, los dos volúmenes consiguieron dar soporte durante el enraizamiento permitiendo una buena aireación y aportando la humedad necesaria para el enraizamiento de las miniestacas.

Cuadro 1. Porcentaje de enraizamiento, número y longitud de las tres raíces más grandes en miniestacas de *Cordia trichotoma*, a los 30 días de cultivo en cámara húmeda.

Volúmenes de sustratos (cm ³)	Porcentaje de enraizamiento (%)	Número de raíces	Longitud de las tres raíces (cm)
50	56,92 ^{ns}	1,44 ^{ns}	3,03 ^{ns}
110	49,27	1,39	2,80

ns- no significativo, por prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la evaluación de la calidad de los plantines el diámetro del tallo presentó un valor F calculado igual a 1,80 y una probabilidad de significancia igual a 0,1809, es decir, no significativa y un coeficiente de variación de 25,13% (Figura 1A). La altura mostró una diferencia significativa con un valor F calculado de 7,46 y una probabilidad de significancia igual a 0,0069 y un coeficiente de variación de 65,86% (Figura 1B). El número de hojas fue significativo con un valor de F igual a 10,34 y una probabilidad de significación igual a 0,0015, y el coeficiente de variación de 118,46% (Figura 1C). El índice de calidad de Dickson presentó un valor F calculado igual a 1,13 y una probabilidad de significancia igual a 0,2900, no significativa, y un coeficiente de variación de 75,57% (Figura 1D).

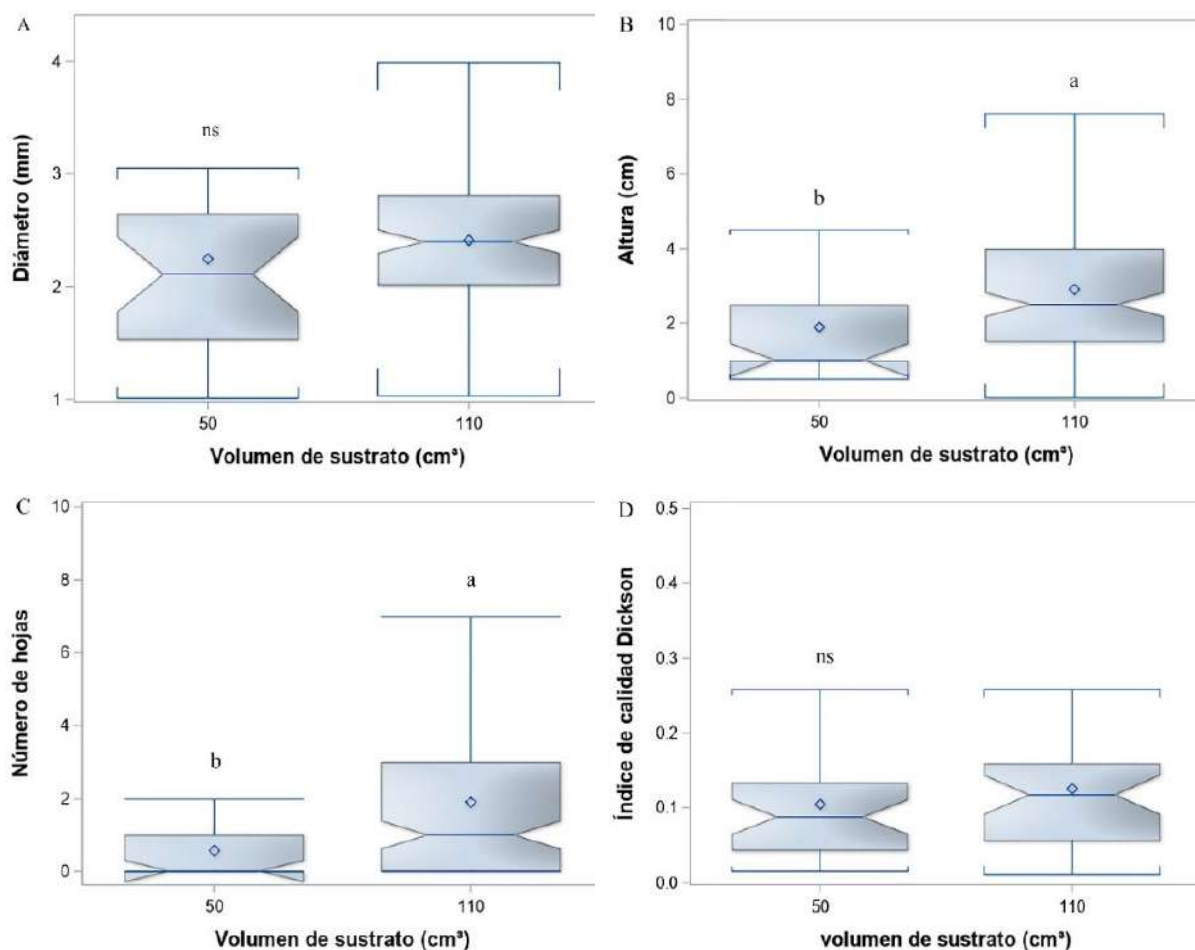


Figura 1. Diámetro del tallo (A), altura de la parte aérea (B), número de hojas (C) e Índice de calidad Dickson (D), en miniestacas de *C. trichotoma* a los 120 días de cultivo en casa de sombra. *Las medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según el test de Tukey, al 5% de probabilidad de error. ns- no significativo.



Para el volumen de 110 cm³ de sustrato, fue mayor el valor promedio obtenido en altura de la parte aérea (Figura1B) y número de hojas (Figura1C), siendo los valores 2,90 cm y 1,90, respectivamente. Para el enraizamiento en la propagación vegetativa de *Prunus salicina*, se verificó un menor porcentaje en bandejas de Styrofoam, sin diferencia estadística entre el resto de envases tubos, bolsas plásticas grandes y bolsas plásticas pequeñas (SCHWENGBER et al., 2002).

La longitud de las raíces de la plántula a los 120 días tuvo un valor F calculado igual a 14,92, una probabilidad de significación igual a 0,0002, y un coeficiente de variación de 60,64% (Figura 2A). Para el área de la superficie de la raíz el valor de F fue 10,71, la probabilidad de significancia fue 0,0016, y el coeficiente de variación fue 60,54% (Figura 2B). La longitud de la raíz por clase de diámetro tuvo un valor F calculado igual a 10,95, una probabilidad de significación igual a 0,0014, y un coeficiente de variación de 22,20% (Figura 2C). El volumen de la raíz tuvo un F calculado de 6,0, una probabilidad de significancia de 0,0166, y el coeficiente de variación de 62,13% (Figura 2D). Así, para estas variables el volumen de sustrato fue significativo.

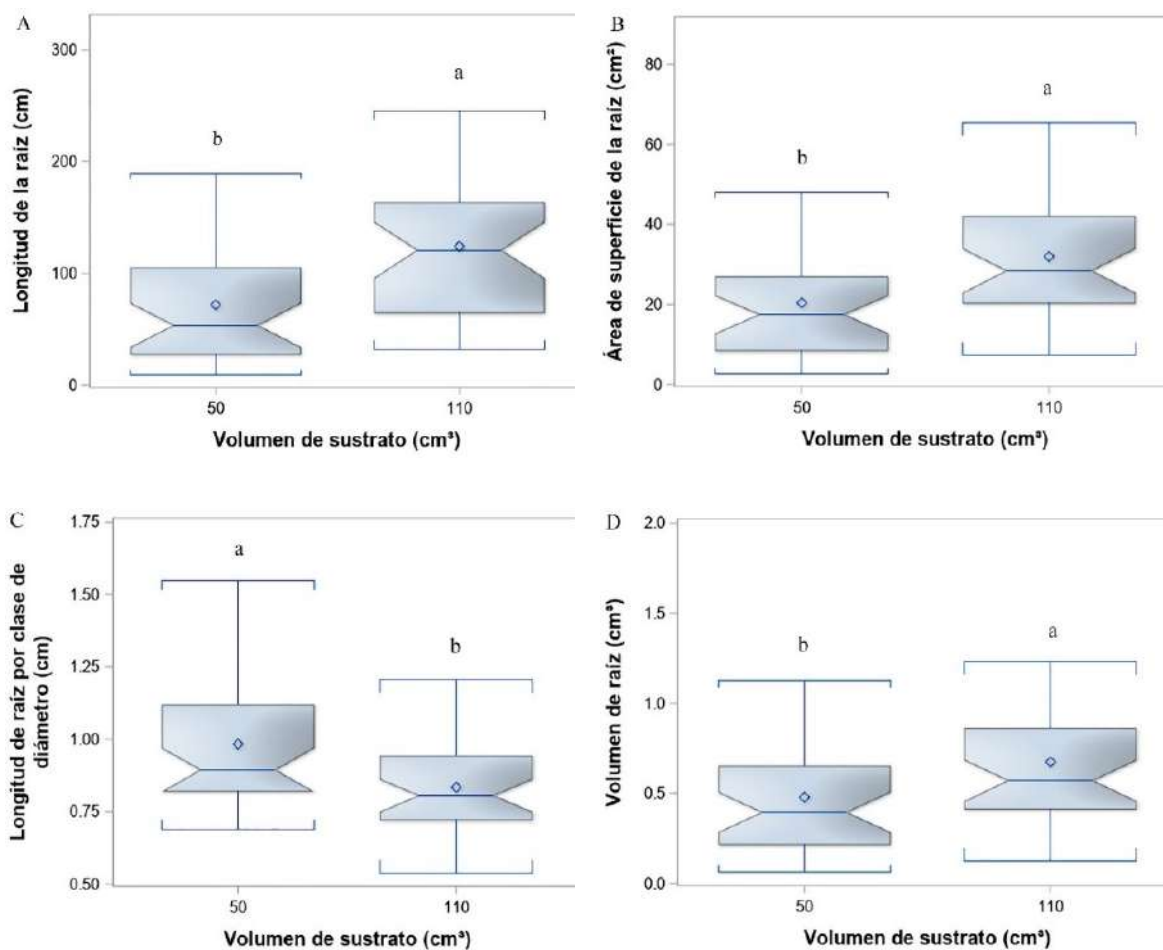


Figura 2. Longitud de la raíz (A), área de la superficie de la raíz (B), longitud de la raíz por clase de diámetro (C) y volumen de la raíz (D) en miniestacas de *C. trichotoma*, a los 120 días de cultivo en la casa de sombra. *Las medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según el test de Tukey, al 5% de probabilidad de error. ns- no significativa.

En general, longitud de la raíz, área superficial y volumen de las raíces tuvieron el promedio más alto con el volumen de 110 cm³ de sustrato, siendo los valores 124,20 cm, 32,00 cm² y 0,67 cm³, respectivamente. Sin embargo, la longitud de la raíz por clase de diámetro fue mayor para los plantines producidos con 50 cm³, las cuales tuvieron un promedio de 0,98 cm, contra 0,83 cm en el volumen de 110 cm³. En la calidad morfológica de las raíces, el volumen de 110 cm³ presentó valores más altos. Esto se puede explicar por el mayor volumen de sustrato presente en este tratamiento, así como por



una mayor disponibilidad de agua y nutrientes, contribuyendo a un mejor desarrollo de las raíces adventicias. Los contenedores con mayor volumen favorecieron una mayor longitud y distribución espacial de las raíces (SCHWENGBER et al., 2002).

Los resultados de este trabajo están de acuerdo con lo observado por Gasparin et al. (2014), en el cual el volumen de sustrato de 50 cm³ presentó menor número y longitud de raíces, comparado con el de 110 cm³ que no difirió del volumen de 280 cm³. Plantines con un sistema de raíces bien desarrollado tienen mayores posibilidades de supervivencia en el campo (FERRAZ; ENGEL, 2011).

4. CONCLUSIONES

Para *C. trichotoma*, el volumen de sustrato no interfirió en el enraizamiento de la miniestacas, sin embargo, los plantines con 110 cm³ presentaron mejor calidad de la parte aérea y raíces. Así, las miniestacas pueden ser plantadas directamente en tubetes con 110 cm³ para la producción de plantines de *C. trichotoma*, lo que reduce la necesidad de mano de obra para el cambio de recipiente y sustrato.

5. LITERATURA CITADA

- BISOGNIN, D.A.; LENCINA, K.H.; KIELSE, P.; FLEIG, F.D.; SILVEIRA, R.; GIMENES, E.S. 2017. Cuttings of post fire epicormic shoots of *Ilex paraguariensis* and *Cabralea canjerana* adult plants. *Ciência Rural*, v.47, n.3, p.1-6.
- CADORIN, D. A.; MALAVASI U. C.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M. 2015. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. *Cerne*, v. 21, n. 4, p. 657-664.
- CARVALHO, P. E. R. 2003. *Espécies Arbóreas Brasileiras*. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, Paraná: Embrapa Florestas.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, v.36, p.10-13.
- FERRAZ, A, V.; ENGEL, V. L. 2011. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e Guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). *Árvore*, v.35, n.3, p.413-423.
- GASPARIN, E.; AVILA, A. L.; ARAUJO, M. M.; FILHO, A. G.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. B. 2014. Influência do sustrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. *Ciência Florestal*, v.24, n.3, p.553-563.
- GIBSON, E. L.; GONÇALVES, E. O.; SANTOS, A. R.; ARAÚJO, E. F.; WENDLING, I.; SOBREIRA, A. R.; CALDEIRA, M. V. W. 2021. Responsiveness of *Melanoxylon brauna* to mini-cuttings technique. *Rhizosphere*, v. 17, p. 01-13.
- LAKEHAL, A.; BELLINI, C. 2019. Control of adventitious root formation: insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions. *Physiologia Plantarum*, v.165, n.1, p. 90-100.
- LISBOA, A. C.; SANTOS, P. S.; NETO, S. N. O.; CASTRO, D, N.; ABRE, A. H. M. 2012. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. *Árvore*, v.36, n.4, p.603-609.
- PIMENTEL, N.; GAZZANA, D.; SPANEVELLO, J. F.; LENCINA, K. H.; BISOGNIN, D. A. 2020. Effect of mini-cutting size on adventitious rooting and morphophysiological quality of *Ilex paraguariensis* plantlets. *Journal of Forestry Research*, v. 1, p. 1.
- SAS Institute Inc. 2014. SAS® OnDemand for Academics: User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 148 p.
- SCHWENGBER, J. E.; DUTRA, L. F.; TONIETTO, A.; KERSTEN, E. 2002. Utilização de diferentes recipientes na propagação da ameixeira através de estacas. *Brasileira de Fruticultura*, v. 24, n.1, p. 285-288.



ENRAIZAMIENTO DE MINIESTACAS DE YERBA MATE EN DIFERENTES EPOCAS DEL AÑO

Luciane Grendene MACULAN¹, Gabriele Taís LOHMANN², Angélica Costa MALHEIROS³, Thaíse da Silva TONETTO⁴, Fabio Santos Rangel JUNIOR⁵, Denise GAZZANA⁶, Renata Smith AVINIO⁷, Luana da Silva CADORE⁸, Dilson Antônio BISOGNIN⁹

RESUMEN

La época del año tiene una gran influencia en el enraizamiento adventicio de las miniestacas y puede ser un factor clave para la propagación vegetativa de las especies arbóreas. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la época de cosecha de estacas sobre el enraizamiento adventicio de miniestacas de yerba mate. Se evaluó el porcentaje de supervivencia y enraizamiento, número y longitud de las tres raíces más grandes a los 60 días de cultivo en cámara húmeda. Se determinó que el momento en que se colectan los brotes afecta el enraizamiento adventicio de la yerba mate. Hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) para el porcentaje de enraizamiento, número y longitud de las tres raíces más grandes entre los tiempos evaluados. Las mejores respuestas al enraizamiento de las miniestacas de yerba mate se obtuvieron cuando se colectaron los brotes en la primavera.

Palabras clave: *Ilex paraguariensis*, propagación vegetativa, condiciones ambientales

1. INTRODUCCIÓN

Las inversiones en investigación forestal para especies de rápido crecimiento proporcionaron el desarrollo tecnológico necesario para la silvicultura y se convirtieron en un modelo a seguir para el proceso productivo. La mayoría de los estudios sobre la propagación de especies forestales nativas de Brasil están relacionados con la propagación sexual, debido a la falta de información silvícola adecuada sobre la propagación vegetativa de estas especies (HEBERLE, 2010).

La falta de estudios científicos sobre métodos de propagación vegetativa para especies forestales nativas ha obstaculizado el avance de esta tecnología a la silvicultura. Entre las especies de alto valor económico destaca la yerba mate (*Ilex paraguariensis*) por ser una importante fuente de ingresos para los productores de algunos países de América del Sur, como Brasil (SANSBERRO et al., 2000). Esta especie tiene importancia económica, social y ecológica para la región sur del país, ya que proporciona materia prima, compuesta de finas hojas y ramas, para medicinas, tés y mate (BITENCOURT et al., 2009), entre otros usos. Sin embargo, hasta ahora, los plantines de mate se producen a través de semillas, lo que limita la producción a gran escala debido a la latencia de la semilla (embrión inmaduro y endocarpio duro) (MEDEIROS, 1998) y al largo período necesario para obtener los plantines en viveros (STURION, 1998; BISOGNIN et al., 2017).

¹ Estudiante de Maestría del Programa de Posgrado en Ingeniería Forestal (PPIF), Universidad Federal de Santa María (UFSM), Santa María, RS, Brasil. Contacto: lucianemaculan@hotmail.com.

² Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: gabrielelohmman148@gmail.com.

³ Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: angelcmalheiros@gmail.com.

⁴ Estudiante de posdoctorado PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: thaisetonetto@hotmail.com.

⁵ Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM, RS, Brasil. Contacto: fabiorangel_@hotmail.com.

⁶ Estudiante de Doctorado PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: denygazzana@hotmail.com.

⁷ Estudiante de Maestría PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: renataavinio@gmail.com.

⁸ Estudiante de Doctorado en Agronomía, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: luanascadore@yahoo.com.br.

⁹ Asesor. Profesor Titular del Departamento de Producción Vegetal de la UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: dilson.bisognin@ufsm.br.



En este contexto, dadas las limitaciones y dificultades verificadas para la producción de plántulas a partir de semillas, la propagación vegetativa a partir de individuos superiores se presenta como una alternativa viable (WENDLING; SANTIN, 2015). Además, la propagación vegetativa es una opción para la producción de plantines que permitan el establecimiento de plantaciones con mayor productividad, uniformidad y calidad (WENDLING, 2003). Sin embargo, la propagación vegetativa se ve afectada por varios factores que pueden actuar solos o en conjunto, como la especie, el genotipo, las condiciones fisiológicas de la planta parental, el momento y lugar de colecta, el grado de maduración de las miniestacas, la presencia de brotes y hojas, y factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa en el ambiente de enraizamiento (HARTMANN et al., 2011). Por lo tanto, el éxito de la propagación vegetativa depende de estudios para maximizar el enraizamiento de las miniestacas según las características y requerimientos de cada especie.

En cuanto a la propagación vegetativa mediante estacas, la yerba mate es una especie de difícil enraizamiento y todos los factores que inciden en este proceso deben ser considerados y optimizados para el éxito de esta técnica (STUEPP et al., 2015). En las últimas décadas se han realizado varios estudios para desarrollar técnicas eficientes para la producción de plantines de yerba mate mediante estacas, pero estos mostraron bajas tasas de enraizamiento (WENDLING, 2004). En algunos casos, el momento de la cosecha de brotes es de gran importancia para el enraizamiento adventicio. Para especies de enraizamiento fácil, los propágulos vegetativos se pueden colectar en cualquier época del año (PAIVA; GOMES, 1995). Para las que son difíciles de enraizar, el período de cosecha usualmente coincide con la época de crecimiento (WENDLING, 2004). Así, para cada planta existe una condición ambiental específica, y es necesario determinar el mejor momento para colectar el material vegetativo para el proceso de estaca y formación de raíces (XAVIER et al., 2009).

En este sentido, el desarrollo de técnicas de propagación vegetativa depende de factores ambientales y se debe estudiar el efecto de la época del año, ya que puede ser un factor decisivo para el éxito del enraizamiento adventicio. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la época del año en el enraizamiento adventicio de miniestacas de yerba mate.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron desde mayo de 2020 hasta enero de 2021 en un invernadero climatizado y casa de enraizamiento del Núcleo de Mejoramiento y Propagación Vegetativa (MPVP), en el Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Federal de Santa María (UFSM), Santa María, Rio Grande do Sul, Brasil.

El minijardín clonal fue establecido en sistema cerrado de cultivo sin suelo, con 50 genotipos seleccionados de yerba mate para competencia al enraizamiento adventicio (GAZZANA et al., 2020), Aproximadamente 30 días después del plantío del minijardín clonal, los plantines fueron podados drásticamente para formar las plantas madres de yerba mate. Las plantas madres recibieron dos fertirriegos al día, durante 15 minutos con la ayuda de un programador digital y una bomba sumergida de bajo caudal. La solución nutritiva fue formulada con las siguientes cantidades de macronutrientes: 6,13 mmol L⁻¹ de nitrato de potasio; 10,0 mmol L⁻¹ de nitrato de calcio (Calcinit); 16,78 mmol de sulfato de magnesio L⁻¹; 1,44 mmol L⁻¹ de nitrato de amonio; 1,39 mmol L⁻¹ de monofosfato de potasio y 1,68 mmol L⁻¹ de hierro. Los micronutrientes se agregaron a la solución nutritiva (7,5 mL) en una mezcla previamente preparada que contenía 0,15 mmol L⁻¹ de molibdato de sodio; 0,89 mmol de ácido bórico L⁻¹; 1,25 mmol L⁻¹ de sulfato de cobre; 1,23 mmol L⁻¹ de sulfato de manganeso y 0,28 mmol L⁻¹ de sulfato de zinc. El pH de la solución nutritiva se mantuvo entre 5,0 y 5,5 y la conductividad eléctrica a 1 dS m⁻¹, ambos ajustados semanalmente.

60 días después de la poda de las plantas madres, se colectaron los brotes de los diferentes genotipos de yerba mate, los cuales fueron seccionados en miniestacas. La recolección de miniestacas se realizó a intervalos variables, de acuerdo a la disponibilidad de brotes. Las miniestacas fueran preparadas con aproximadamente 2 cm de largo, con una sola yema y hoja reducida a la mitad de su área original y tratada con ácido indolbutírico (AIB), a una concentración de 2 000 mg L⁻¹, durante 10 segundos.



Para el enraizamiento, se cultivaron miniestacas en bandejas de polietileno con 100 alvéolos de 18cm³, con sustrato comercial a base de corteza de pino, vermiculita media y arena de grano grueso (1:1:1 v/v/v). Las miniestacas se mantuvieron en una cámara húmeda automatizada a una humedad relativa cercana al 85 %, suministrada por nebulización automática 8 veces al día, durante 1 minuto y una temperatura promedio de 32 °C. Luego de 60 días de cultivo en cámara húmeda, se evaluaron las miniestacas para el porcentaje de supervivencia y enraizamiento, número y longitud de las tres raíces más grandes.

El experimento se estructuró en un diseño completamente al azar, con repeticiones que van desde 874 a 1 749 miniestacas. Los datos se sometieron a los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas. Tratamientos con diferencias significativas por el test de F fueron comparados por el test de separación de medias de Scott-Knott, al 5 % de probabilidad, con el software estadístico Sisvar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) a los 60 días de cultivo en cámara húmeda para el porcentaje de enraizamiento, número y longitud de las tres raíces más grandes (Gráfico 1). Las miniestacas colectadas en primavera tuvieron los porcentajes más altos de enraizamiento (46,6 %) que las miniestacas colectadas en otoño (24,6 %). Las miniestacas colectadas en la temporada de primavera también tuvieron los promedios más altos en número y longitud de raíces (2,4 raíces y 0,6 cm de largo), en comparación con las miniestacas colectadas en la temporada de otoño (0,7 raíces y 0,1 cm de largo). Las miniestacas colectadas en otoño y primavera no tuvieron diferencias estadísticas de supervivencia, correspondientes al 79,5 y 82,6%, respectivamente.

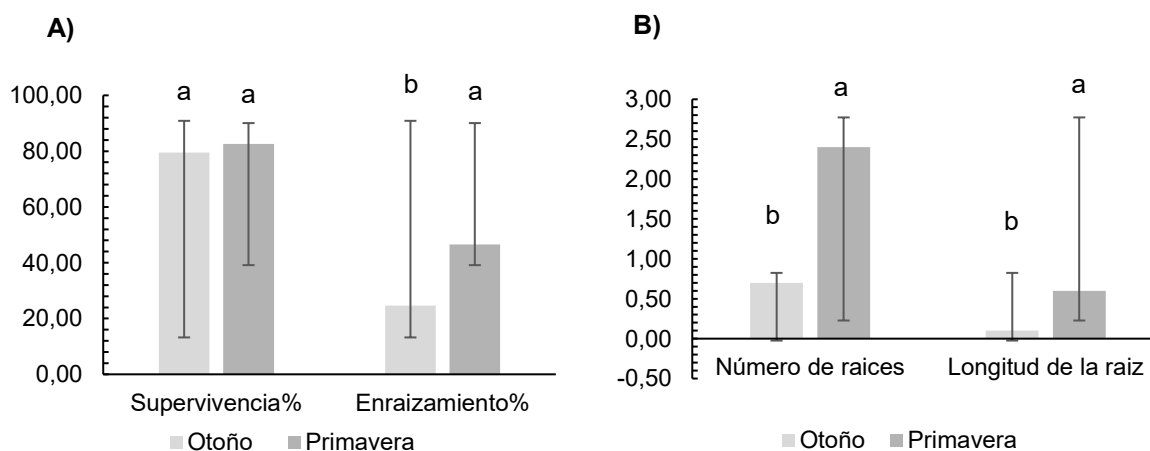


Gráfico 1. Porcentaje de supervivencia y enraizamiento (A), número y longitud de las tres raíces más grandes (B) en miniestacas de yerba mate, a los 60 días de cultivo en cámara húmeda. *Las medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según el teste de Scott-Knott, al 5% de probabilidad de error.

En yerba mate Pimentel (2016) verificó que los mayores números de miniestacas enraizadas fueron en otoño e invierno y menor en primavera, sin diferir estadísticamente del verano. Por otro lado, en miniestaca de *Cordia Trichotoma* en mayor número de miniestacas enraizadas fueron obtenidas cuando las colectas de brotaciones en el verano, resultando en porcentajes más elevados, número y longitud de las raíces (SOMAVILLA, 2018). Los mismos resultados fueron observado en *Pinus Taeda*, obteniendo en verano y primavera las mejores épocas para colectar brotes, que proporcionaron el mayor porcentaje de enraizamiento, aún sin la aplicación de AIB (ALCANTARA et al., 2008). Esto denota que la época del año puede influir en la formación de raíces adventicias, así como en el número de miniestacas enraizadas.

Los resultados superiores de enraizamiento de Pimentel (2016) en la temporada de invierno se explican por la mayor mortalidad de los miniestacas durante el verano, debido a las altas temperaturas y tasas



de transpiración, que promueven la deshidratación de las miniestacas. En este estudio se obtuvieron resultados contrastantes al compararlos con los de Pimentel (2016), en el que se obtuvieron la mejor época y resultados superiores para el enraizamiento en la primavera, lo que puede deberse a un mayor control de la temperatura y las condiciones en la planta madre. Estas variaciones de enraizamiento debido a la época del año pueden estar relacionadas con la capacidad de la planta para sintetizar, almacenar y utilizar productos de la fotosíntesis para promover la formación de raíces y, al menor número de brotes emitidos en invierno en comparación con el verano, debido a la disminución de la actividad metabólica de la planta, cuando el metabolismo está destinado únicamente a actividades vitales. Además, la capacidad de enraizamiento puede diferir mucho entre especies forestales, así como entre clones de la misma especie, estando el enraizamiento adventicio controlado genéticamente por la capacidad de las células para someterse a desdiferenciación, siempre que las condiciones sean satisfactorias para la expresión génica (XAVIER et al., 2009). Por tanto, el enraizamiento adventicio depende de la interacción del genotipo con las condiciones ambientales.

Según Alcantara et al. (2008), la exposición previa a un período de descanso vegetativo favorece la acumulación de carbohidratos que favorecen la formación de raíces en climas cálidos, asociados a una mayor actividad metabólica (ALCANTARA et al., 2007) y síntesis de auxinas (FACHINELLO et al., 2005). Además, el enraizamiento adventicio de las miniestacas está directamente relacionado con el tiempo de recolección de los brotes, actuando sobre las condiciones fisiológicas de la planta madre (XAVIER et al., 2009), sobre el grado de lignificación de las estacas (FACHINELLO et al., 2005) y en la producción de auxinas (HARTMANN et al., 2011), siendo un factor determinante para el éxito del enraizamiento adventicio. Así, estos resultados sugieren que las miniestacas de yerba mate, cuando se colectan en la primavera, presentan mayor actividad metabólica y, en consecuencia, mayor número de brotes producidos, menor grado de lignificación, mayor síntesis de auxinas y carbohidratos favorables, resultando en mayor enraizamiento.

De esto se puede apreciar que cuando se colectan las miniestacas de yerba mate en la primavera, período de crecimiento vegetativo, hay un mayor porcentaje de enraizamiento y la cantidad de raíces producidas. Sin embargo, cuando se colectan en otoño, se produce una reducción del desarrollo radicular, debido al reposo vegetativo y la menor actividad fisiológica de la planta. Esto denota que la primavera favorece el proceso rizogénico de miniestacas de yerba mate. Según Hartmann et al. (2011) algunas especies muestran inducción de raíces adventicias cuando se colectan en períodos específicos. Sin embargo, para algunos, la inducción de raíces adventicias ocurre en diferentes épocas del año, sin embargo, se maximizan en un período diferente. Así, para cada especie se debe determinar el mejor momento para colectar brotes, así como la influencia del momento de recolección en la producción y calidad de las plántulas producidas por estacas (XAVIER et al., 2009).

A medida que aumenta la disponibilidad de radiación solar en primavera y, en consecuencia, la temperatura del ambiente, también aumentan las reacciones químicas de oxidación-reducción en el metabolismo de la planta y el proceso de división celular (TAIZ y ZEIGER, 2013). Con el aumento de temperatura durante la temporada de primavera y verano, la planta retoma el crecimiento vegetativo y la síntesis de carbohidratos y hormonas, hasta alcanzar el máximo vigor vegetativo (OLIVEIRA et al., 2016), culminando en el máximo enraizamiento adventicio de miniestacas de yerba mate cuando en comparación con el material colectado en el otoño o invierno. Así, el período de la primavera, corresponde al momento de mayor alargamiento celular y actividad metabólica, actuando directamente sobre la mayor cantidad y longitud de raíces producidas.

4. CONCLUSIONES

La época de cosecha de miniestacas de yerba mate afecta el enraizamiento adventicio. Las mejores respuestas al enraizamiento de miniestacas de yerba mate se obtuvieron cuando se colectaron los brotes en la primavera.

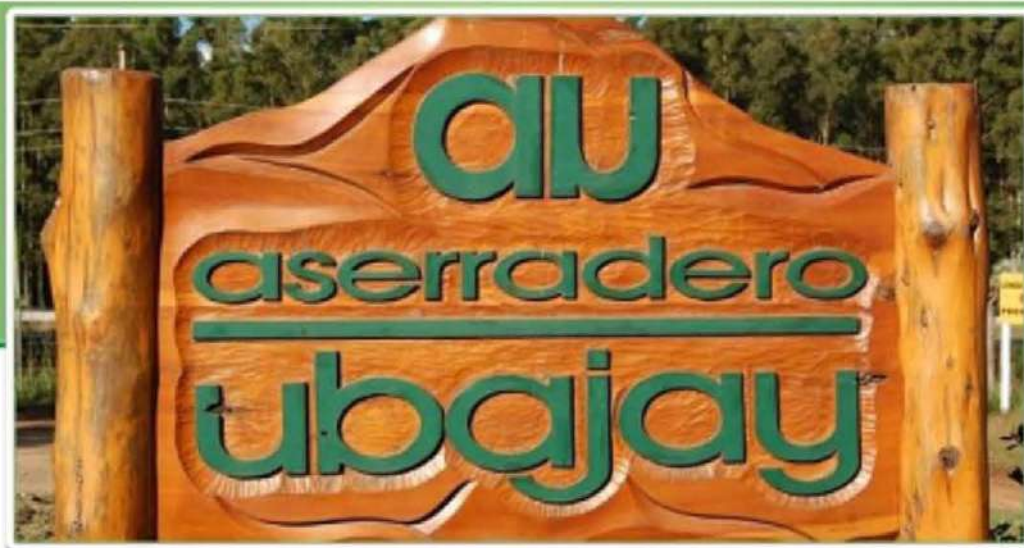
5. LITERATURA CITADA

ALCANTARA, G. B. et al. 2008. Efeitos do ácido indol-butírico (AIB) e da coleta de brotações em diferentes




- estações do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. *Scientia Forestalis*, v.36, n.78, p.151-156.
- ALCANTARA, G. B. et al. 2007. Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. *Árvore*, v.31, n.3, p.399-404.
- BITENCOURT, J.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; WENDLING, I.; KOEHLER, H.S. 2009. Enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.) provenientes de brotações rejuvenescidas. *Bras. Plant. Medicinai*, vol.11, n.3, p.277-281.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. (Eds). 2005. Propagação de plantas frutíferas. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. 221p.
- GAZZANA, D.; PIMENTEL, N. LOHMANN, G.T.; SPANEVELLO, J.F.; BISOGNIN, D.A. 2020. Selection between and within half-sibling progenies of *Ilex paraguariensis* for adventitious rooting of mini-cuttings. *Crop Breed. Appl. Biot.*, v.20, n.4, p. e32562043.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; JUNIOR DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L. 2011. Plant propagation: principles and practices. 8. Ed. New Jersey: Englewood Clippings, 900p.
- HEBERLE, M. 2010. Enraizamento de Miniestacas e Seleção de *Cordia trichotoma* (vellozo) Arrabida ex Steudel para a Propagação por Miniestaquia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 76 p.
- MEDEIROS, A. C. de S.1998. Dormência em sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) Doc. 36. Colombo. Embrapa Florestas. 25 p.
- OLIVEIRA, T. P. F. et al. 2016. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. *Ciência Florestal*, v.26, n.1, p.313-320.
- PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. 1995. Propagação vegetativa de espécies florestais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 40p.
- PIMENTEL, N. 2016. Miniestaquia e qualidade de mudas de erva- mate. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 122 p.
- SANSBERRO, P. A. et al. 2000. Plant Regeneration of *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae) by in vitro culture of nodal segments. *Biocell*, v.24, n.1, p.53-63.
- SOMAVILLA, T. M. 2018. Enraizamento de Miniestacas e Seleção de *Cordia trichotoma* (vellozo) Arrabida ex Steudel para a Propagação por Miniestaquia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 90 p.
- STUEPP, C. A.; BITENCOURT, J.; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S.; ZUFFELLATO-RIBAS, C. C. 2015. Propagation of yerba mate using shoots from girdling and coppicing for two stock plants ages. *Cerne*, v.21, n.4, p.519-526.
- STURION, J. A. 1998. Produção de mudas e implantação de povoamentos com erva-mate. *Circ. Téc.*, 17, Colombo: EMBRAPA– CNPF, 10 p.
- TAIZ, L.; SEIGER, E. 2013. Fisiologia Vegetal. 5 ed. Porto Alegre, Artmed, 954p.
- WENDLING, I.; SANTIN, D. 2015. Propagação e nutrição de erva-mate. EMBRAPA. 21 ed. 195 p.
- WENDLING, I. 2004. Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): estado da arte e tendências futuras. Doc. 91. Colombo. Embrapa Florestas, 46p.
- WENDLING, I. 2003. Propagação vegetativa. In: Semana do Estudante Universitário, Colombo/PR. Anais... Colombo/PR: Colombo: Embrapa Florestas.
- XAVIER, A. et al. 2009. Silvicultura clonal: princípios e técnicas. Viçosa: Ed UFV, 272p.

**Adhiere a las
XXXV Jornadas Forestales
de Entre Ríos**



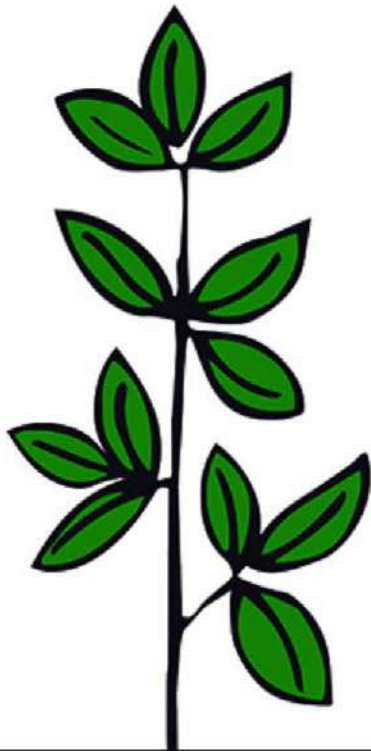
Aserradero Ubajay

**Ruta Nacional 14 - Km 201
Ubajay - Entre Ríos
Mesopotamia Argentina
C.P. 3287**

 **(0345) 625-8315**

625-8320 / 405-4463

www.aserraderoubajay.com



PAUL FORESTAL

PLANTINES DE PEDIGREE

www.paulforestal.com.ar

0345 490-5118



PAUL
FORESTAL 

PLANTINES FORESTALES DE PEDIGREE
www.paulforestal.com.ar | 0345 490-5118



NO JUGUEMOS CON FUEGO

Todos los tipos de edificios deben tener en cuenta los problemas de prevención de incendios: es fundamental lograr minimizar las causas de combustión, garantizar la estabilidad de la estructura y limitar la propagación de las llamas tanto hacia el interior como hacia los edificios contiguos. La gama Rothoblaas incluye muchas soluciones eficaces para estos fines: cintas y membranas retardantes al fuego, espumas, sellantes acrílicos, láminas, juntas y mucho más para que puedas dormir tranquilamente. Solicita información a tu agente de confianza o descubre los productos de seguridad contra el fuego en el catálogo "Cintas, sellantes y membranas". Porque la seguridad contra incendios es algo serio.

CINTAS, SELLANTES Y LÁMINAS

ESTANQUEIDAD AL AIRE, AL VIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN





” Una empresa forestal comprometida
con el sector y la región”

Oficina Concordia: Urquiza 486 - Tel (0345) 4225324



CIDEA

CONSULTORA INTEGRAL DE EMPRESAS AGROPECUARIAS

- Proyectos de inversión forestal
- Administraciones
- Asesoramiento en compra de campos y forestaciones
- Fideicomisos forestales

Sarmiento 957 – Concordia – Entre Ríos
Tel (0345) 4212272 / www.cideagro.com.ar



ENRAIZAMIENTO ADVENTICIO DE *Myrcarpus frondosus* ALLEMÃO

Thaíse da Silva TONETTO¹, Dilson Antônio BISOGNIN², Luana da Silva CADORE³,
Luciane Grendene MACULAN⁴, Gerâne Silva WERTONGE⁵, Denise GAZZANA⁶,
Renata Smith AVINIO⁷, Angélica Costa MALHEIROS⁸, Gabriele Taís LOHMANN⁹,
Jacson Ricardo LIBRELOTTO¹⁰, Fabio Santos Rangel JUNIOR¹¹, Kelen Haygert
LENCINA¹²

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el enraizamiento adventicio de clones de *Myrcarpus frondosus*. Se consideraron 19 clones de *M. frondosus* establecidos en un minijardín clonal con sistema cerrado de cultivo, empleando arena gruesa como sustrato. Las miniestacas fueron plantadas en bandejas de polipropileno de 100 alveolos, que contenían un sustrato comercial a base de turba, vermiculita mediana y arena gruesa (1:1:1 v/v/v). A los 60 días de cultivo se realizó la caracterización morfológica de las raíces, midiendo la longitud promedio total, área de superficie radicular, diámetro promedio de raíz y volumen de raíz. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones (miniestacas). Los datos se sometieron a los supuestos de normalidad de los residuales y homogeneidad de las varianzas, utilizando, cuando fue necesario, la transformación de Box-Cox. Las medias fueron comparadas por el test de Scott-Knott al 5 % de probabilidad de error. Los clones P4.11, P4.18, P4.40 y P5.17 presentaron las mejores características morfológicas de las raíces, pudiendo ser utilizados para la producción de plantines clonales de *M. frondosus*.

Palabras clave: *especies nativas, propagación vegetativa, miniestaca, calidad de raíz*

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las especies forestales nativas ante la demanda futura de plantines para restauración forestal, recuperación de áreas degradadas e instalación de asentamientos comerciales, ha impulsado investigaciones encaminadas a mejorar la propagación vegetativa. En este contexto, dadas algunas limitaciones en cuanto a producción y enraizamiento por estacas, una variación de la técnica denominada de propagación vegetativa por miniestacas (MELO et al., 2011), permite obtener plantines de calidad y en la cantidad necesaria para cumplir con diversos fines.

Para que la técnica de miniestaca sea viable, es importante evaluar el potencial de enraizamiento de las mismas, siendo sumamente relevante para la producción de plantines, ya que los plantines con un sistema radicular bien formado tendrán mejores posibilidades de supervivencia y mejor desarrollo

¹ Estudiante de posdoctorado del Programa de Posgrado en Ingeniería Forestal (PPIF), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa María, RS, Brasil. Contacto: thaisetonetto@hotmail.com.

² Asesor. Profesor Titular del Departamento de Producción Vegetal de la UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: dilson.bisognin@ufsm.br.

³ Estudiante de Doctorado en Agronomía, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: luanascadore@yahoo.com.br.

⁴ Maestría en Ingeniería Forestal por PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: gerane-wertonge@hotmail.com

⁵ Estudiante de Maestría del PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: lucianemaculan@hotmail.com.

⁶ Estudiante de Doctorado del PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: denygazzana@hotmail.com.

⁷ Estudiante de Maestría del PPIF, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: renataavinio@gmail.com.

⁸ Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: angelcmalheiros@gmail.com.

⁹ Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: gabrielelohmann148@gmail.com.

¹⁰ Estudiante de Ingeniería Agronómica, UFSM, Santa María, RS, Brasil. Contacto: jackson_sho@hotmail.com.

¹¹ Estudiante de Ingeniería Forestal, UFSM/FW, Santa María, RS, Brasil. Contacto: fabiorangel_@hotmail.com.

¹² Profesora Departamento de Agricultura, Biodiversidad y Bosques de la Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, SC, Brasil. Contacto: kelen.lencina@ufsc.br.



postplantación (FREITAS et al., 2015). Dado que el enraizamiento adventicio es un paso fundamental en la propagación vegetativa, constituyendo un factor limitante para el uso de la técnica, ya que puede ser afectado por el genotipo, edad y nutrición de la planta madre, condiciones ambientales (luminosidad, temperatura, humedad) y época del año (HARTMANN et al., 2011).

Así, se destaca *Myrcarpus frondosus*, perteneciente a la familia Fabaceae y es conocida comúnmente en Brasil como cabreúva (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2014). Tiene una amplia distribución, presentándose desde el sur de Bahía hasta Rio Grande do Sul, principalmente en la Mata Atlántica y la Selva Latifoliada Semidecidua. *M. frondosus* se caracteriza por ser una planta caducifolia, secundaria temprana a secundaria tardía, heliófita e higrófila selectiva, alcanzando de 20 a 30 m de altura y de 60 a 90 cm de diámetro (LORENZI, 2014). *M. frondosus* tiene potencial silvícola, comercial, económica, medicinal, ambiental, ornamental y ecológica, teniendo usos como madera aserrada, madera en rollo, energía (leña y carbón vegetal), celulosa y papel, aceite esencial, resinas y goma (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2014). Debido a la importancia de esta especie, es necesario realizar investigaciones para esclarecer los procesos relacionados con la propagación vegetativa. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar el enraizamiento adventicio de clones de *M. frondosus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó de mayo a julio de 2021 en el Núcleo de Mejoramiento y Propagación Vegetativa de Plantas (MPVP), perteneciente al Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Federal de Santa María (UFSM), en el municipio de Santa María, Río Grande do Sul, Brasil.

El minijardín clonal se estableció a partir de estacas cosechadas de 19 clones de *M. frondosus* bajo un sistema de cultivo cerrado sin suelo, utilizando arena gruesa como sustrato (BISOGNIN et al., 2015), en una bandeja de polipropileno de 20 x 40 x 30 cm. Las minicepas recibían de dos a tres fertirrigaciones al día, durante 15 minutos, según la temporada, con la ayuda de un programador digital y una bomba sumergida de bajo caudal. La solución nutritiva utilizada en fertirrigación contiene las siguientes cantidades de nutrientes, en mg l⁻¹: 199,60 N; 11,40 de P; 131,20 de K; 65,90 Ca; 51,00 Mg; 68,23 de S; 0,50 de B; 0,50 Cu; 2,27 Fe; 1,00 Mn; 0,07 Mo; 0,2 de Zn, añadido a través de los respectivos compuestos: nitrato de potasio (KNO₃); sulfato de magnesio (MgSO₄.7H₂O); fosfato monoamónico (NH₄H₂PO₄); nitrato de calcio [(Ca (NO₃)₂.4H₂O)]; ácido bórico (H₃BO₃); cloruro de manganeso (MnCl₂.4H₂O); sulfato de zinc (ZnSO₄.7H₂O); sulfato de cobre (CuSO₄.5H₂O); molibdato de sodio (Na₂MoO₄.2H₂O). El pH de la solución nutritiva se mantuvo entre 5,5 y 5,8 y la conductividad eléctrica se mantuvo en 1,5 dS m⁻¹.

Los brotes de las minicepas de los 19 clones fueron seccionados en miniestacas con una sola yema y con una reducción del 50 % del área foliar con el fin de reducir la evapotranspiración. Se aplicó una solución hidroalcohólica de 2.000 mg l⁻¹ de ácido indolbutírico (AIB) a la base de las miniestacas durante 10 segundos, según protocolo MPVP (PIMENTEL et al., 2019). Las miniestacas fueron plantadas en bandejas de polipropileno de 100 alveolos (18 cm³), que contenían un sustrato comercial a base de turba, vermiculita mediana y arena gruesa (1:1:1, v/v/v). Posteriormente, las bandejas se colocaron en cámara húmeda, cuyo riego automático se realizó mediante nebulización, cada 30 minutos durante 10 segundos, entre las 7 a.m. y las 7 p.m.

La caracterización morfológica de las raíces se realizó luego de 60 días de cultivo a través de imágenes digitales utilizando el software WinRhizo Pro 2014 (Régent Instr. Inc.), acoplado al escáner EPSON Expression STD4800, equipado con luz adicional (TPU) y con una resolución de 600 DPI. Se midieron, por medio de la imagen obtenida, la longitud de la raíz (cm), el área de la superficie de la raíz (cm²), el diámetro medio de la raíz (mm) y el volumen de la raíz (cm³). Las miniestacas se consideraron enraizadas cuando tenían al menos una raíz adventicia de 0,1 cm de longitud.

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones. Los datos se sometieron a los supuestos de normalidad de residuales y homogeneidad de varianzas, utilizando, cuando fue necesario, la transformación de Box-Cox. Las medias fueron comparadas por la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad de error en el software R®.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las miniestacas de *M. frondosus* presentaron en promedio raíces con una longitud de $2,17 \pm 1,59$ cm, área de superficie de $0,68 \pm 0,39$ cm², diámetro promedio de $1,17 \pm 0,44$ mm y volumen de $0,019 \pm 0,009$ cm³ (datos no mostrados). Las miniestacas de los 19 clones de *M. frondosus* difirieron estadísticamente entre sí ($p < 0,05$) a los 60 días de cultivo en cámara húmeda, lo que confirma que existen diferencias en la capacidad de formación de raíces entre ellos (Gráfico 1).

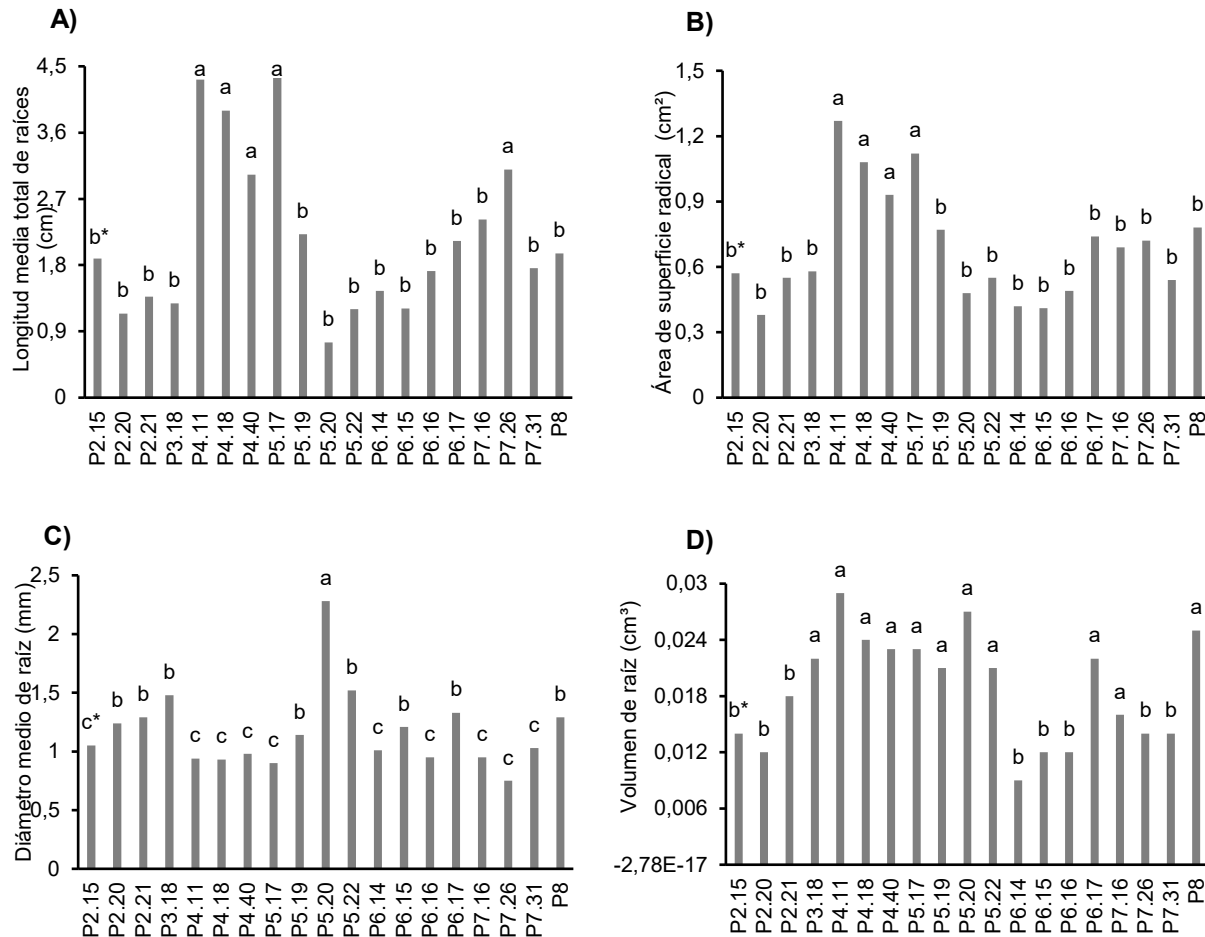


Gráfico 1. Longitud media total de raíces, área de superficie radical, diámetro medio de raíz y volumen de raíz de 19 clones de *M. frondosus* a los 60 días de cultivo en cámara húmeda. *Las medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí según la prueba de Scott-Knott, con un 5% de probabilidad de error.

Los clones P4.11, P4.18, P4.40, P5.17 fueron superiores para los caracteres longitud de la raíz, área de superficie de la raíz y volumen de la raíz (Gráficos 1A, 1B y 1D). El clon P7.26 solo se destacó para la longitud de raíz, mientras que, los clones P3.18, P5.19, P5.20, P5.22, P6.17, P7.16 y P8 se destacaron en cuanto al volumen de raíces. Sin embargo, para el carácter diámetro medio de la raíz, el clon P5.20 fue superior a los demás (Gráfico 1C).

A medida que aumentó la longitud de la raíz, también hubo un aumento en el área de la superficie y el volumen de la raíz, mientras que se observó una disminución en el diámetro medio. Según Tinoco et al. (2010), el aumento de la superficie y la reducción del diámetro medio se producen a medida que se desarrollan los plantines.

El sistema radicular es una característica muy importante a considerar en la calidad de los plantines forestales (MAYE; PERES; TAMBARUSSI, 2018). El desarrollo adecuado de las raíces se puede verificar a través del número, así como la longitud y masa seca de raíces formadas en las miniestacas, ya que esto, además de reflejarse en la mayor área de absorción de agua y nutrientes, también aumenta la resistencia al estrés ambiental, asegurando una mayor tasa de crecimiento y supervivencia de las



plantas en el campo (FREITAS et al., 2005). El uso de auxinas sintéticas, como el AIB, tiende a proporcionar un mayor porcentaje, rapidez, calidad y uniformidad de enraizamiento de las miniestacas, ya que las auxinas actúan promoviendo la inducción de primordios radiculares (PINTO; MOURA, 2021). Por tanto, cuanto mayor sea la relación auxina/citoquinina, mayor será la formación de raíces (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Además, el crecimiento del sistema radicular determina el volumen de suelo que ocupan las raíces y su explotación, influyendo en la capacidad de eliminación o dominación de especies competidoras (GONÇALVES; MELLO, 2005). Un sistema radicular con mayor número de ramas y con raíces de menor diámetro, posibilita un mayor acceso al agua y nutrientes (CLARKSON; HANSON, 1980). Así, fue posible demostrar que existe un efecto del genotipo sobre las características de enraizamiento y calidad de raíces para los clones de *M. frondosus*.

4. CONCLUSIONES

Es posible multiplicar a partir de estaquillas con una sola yema a *M. frondosus*. Los clones P4.11, P4.18, P4.40 y P5.17 presentaran las mejores características morfológicas radiculares para ser utilizados en la producción de plantines clonales de *M. frondosus*.

5. LITERATURA CITADA

- BISOGNIN, D. A.; BANDINELLI, M. G.; KIELSE, P.; FISCHER, H. 2015. Rooting Potential of Mini-Cuttings for the Production of Potato Plantlets. *American Journal of Plant Sciences*. v. 6, n. 2, p. 366-371.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. 2003. Vol. 1. Colombo: Embrapa Florestas. p.255-262.
- CLARCKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. 1980. *Ann. Rev. Plant Physiology*, v.3, p.239-298.
- FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; LAMÔNICA, K. R.; FERREIRA, D. de A. 2005. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. *Árvore*, v. 29, n. 6, p. 853-861.
- FREITAS, T. P.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, V. S.; OLIVEIRA, M. A. de. 2015. Efeito do ácido indol-3-butírico (AIB) no enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Mattos). *Ci. Fl.*, v. 25, n. 4, p. 1043-1051.
- GONÇALVES, J. L. de M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. *Nutrição e fertilização de florestas*. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 221-267.
- HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVES, JR F.D., GENEVE, R.L. 2011. *Plant propagation: principles and practices*. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall. 915p.
- LORENZI, H. *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2014. Vol. 1. 6ª Ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. p.179.
- MAYE, E. L. P.; PERES, F. B.; TAMBARUSSI, E. V. 2018. Arquitetura foliar de miniestacas e aplicação de biofertilizante à base de aminoácidos na miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage. *Sci. For.*, v. 46, n. 118, p. 251-260.
- MELO, L. A. et al. Otimização do tempo necessário para o enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis*. 2011. *Árvore*, v.35, n.4, p.759-767.
- PIMENTEL, N.; LENCINA, K. H.; KIELSE, P.; RODRIGUES, M. B.; SOMAVILLA, T. M.; BISOGNIN, D. A. 2019. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 559-570.
- PINTO, S. I. C.; MOURA, M. D. 2021. Enraizamento de estacas de mini-ixora (*Ixora coccinea* L. var. Compacta) sob diferentes substratos e estimuladores de desenvolvimento radicular. *For Science*, v.9, n.1, p.1-14.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2013. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 954p.
- TINOCO, S. M. S. et al. 2010. Avaliação do sistema radicular de genótipos de trigo em solução nutritiva. *Passo Fundo: Embrapa Trigo. Circular Técnica*, n. 28, 10 p.



EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE HONGOS ECTOMICORRÍCICOS SOBRE EL DESARROLLO DE *Pinus taeda*

Davy Salbego BRAZ¹, Matheus Severo de Souza KULMANN¹, Ingrid Alegransi MILLANI¹, Janini Verônica SCHERER¹, Anderson de Costa PAINI², Reinaldo Hoinacki da COSTA², Mauro Valdir SCHUMACHER¹

RESUMEN

La inoculación de hongos micorrícicos en plantas juega un papel importante en las asociaciones simbióticas mutualistas entre raíces de plantas y hongos del suelo, ayudando a la absorción de agua y sales minerales del suelo (principalmente fósforo y nitrógeno), ya que aumentan la superficie de contacto entre el sistema radicular y el suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y la actividad fisiológica de *Pinus taeda* cultivado bajo inoculación de hongos ectomicorrícicos. El experimento se realizó en un invernadero durante 300 días en instalaciones del Departamento de Suelos de la UFSM (Universidad Federal de Santa María), Santa María - RS, Brasil. Se evaluó la altura, el diámetro del tallo, el área foliar específica, la eficiencia en el uso del agua, la velocidad de transporte de electrones y la fluorescencia inicial. La inoculación de hongos micorrícicos promovió los valores más altos de altura, área foliar específica, eficiencia en el uso del agua y velocidad de transporte de electrones. Así, la inoculación de hongos micorrícicos ayudó a incrementar el sistema radicular de *Pinus taeda*, contribuyendo a la absorción de agua y nutrientes del suelo, favoreciendo la actividad fisiológica y en consecuencia, el crecimiento en altura de las plantas.

Palabras clave: actividad fisiológica, eficiencia del uso del agua, Pino, *Pisolithus microcarpus*

1. INTRODUCCIÓN

Brasil es un país con alto potencial forestal y su cobertura está compuesta por bosques naturales y plantados, que en conjunto cubren aproximadamente 463 millones de hectáreas, lo que equivale a dos tercios del territorio nacional (IBÁ, 2016). La introducción de especies forestales exóticas en Brasil trajo grandes beneficios al aumento de la oferta de materias primas y principalmente, a la reducción de intervenciones en bosques nativos. A partir de 1966, con la aparición de incentivos fiscales para las plantaciones forestales, las áreas de bosques plantados en Brasil se expandieron y actualmente proporcionan madera para varios segmentos (ABRAF, 2010). El estudio del ciclo de nutrientes en estos lugares es de fundamental importancia, posibilitando la predicción de situaciones que podrían ser críticas en el mediano y largo plazo, tanto en relación a la productividad como a las características del suelo (SCHUMACHER et al., 2008). La asociación entre plantas y hongos micorrícicos puede ser un factor relevante para el correcto desarrollo de los cultivos (MELLONI et al., 2000; CASSIOLATO et al., 2001) y pueden contribuir a aumentar la productividad de las plantaciones forestales. Los hongos ectomicorrícicos pueden favorecer la disponibilidad de nutrientes para las plantas en suelos pobres, aumentando así la eficiencia de su uso y haciéndolas menos dependientes de los fertilizantes químicos. (OLIVEIRA et al., 1997).

Los hongos ectomicorrícicos contribuyen al crecimiento de las plantas, por su aporte a la disponibilidad de nutrientes en el suelo y, por lo tanto, a la absorción por parte de las plantas, al ampliar el área de exploración de las raíces en el suelo (TIBBETT; SANDERS, 2002), contribuyen a la solubilización de los elementos adsorbidos en el suelo, mediante la liberación de ácidos orgánicos, aportando nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (LANDEWEERT et al., 2001), permitiendo

¹ Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

² Juliana Florestal Ltda. julianaflorestal@frameport.com.br.



mayores concentraciones en el tejido celular (PARKE; LINDERMAN; BLACK, 1983), protege a las plantas de la acción de los patógenos, a través de la formación de una barrera física - el manto de Harting (MARX; DAVEY, 1969), además de ampliar esta protección mediante la producción y liberación de antibióticos en el medio ambiente (TSANTRIZOS et al., 1991; BAUMERT et al., 1997).

Los hongos ectomicorrícicos son las más comunes en las plantaciones forestales y son responsables del establecimiento de esta especie en suelos pobres en nutrientes. Los hongos ectomicorrícicos presentan una amplia gama de respuestas a elementos potencialmente tóxicos, lo que ayuda a las plantas a tolerar la acidificación y la fitotoxicidad del suelo (BRUNNER, 2001). Así, nuestra hipótesis es que la inoculación de hongos ectomicorrícicos en *Pinus taeda* contribuye al crecimiento en altura y diámetro del cuello, debido al aumento del área foliar y, en consecuencia, a la eficiencia del uso de agua y velocidad de transporte de electrones, reduciendo las pérdidas de energía, como la fluorescencia inicial. Este estudio tiene como objetivo evaluar el crecimiento y la actividad fisiológica de *Pinus taeda* inoculado con *Pisolithus microcarpus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero (CV), en la Universidad Federal de Santa María (UFSM), en el estado de Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Se utilizaron plantines de *Pinus taeda* bajo un diseño completamente al azar con ocho repeticiones. Para los tratamientos se consideraron dos niveles de inoculación (inoculados y no inoculados). El experimento se implementó en junio de 2020 y duró 10 meses. El suelo utilizado fue un Oxisol (SOIL SURVEY STAFF, 2014) de un área de plantación de primera rotación de *Pinus taeda* L., ubicada en la ciudad de Caçador (SC), sur de Brasil (26° 44' 48,72" S y 51° 04' 18,52" O, altitud 1030 m).

La inoculación de la planta se realizó aplicando una solución de inoculante fúngico de *Pisolithus microcarpus* en cada maceta, aplicado directamente a las puntas de las raíces de las plántulas de *Pinus taeda* L. al momento del trasplante. La solución fúngica se obtuvo mediante tamizado en húmedo, seguido de centrifugación en agua a 2000 rpm durante tres minutos y en sacarosa (45 % v/v) a 1500 rpm durante dos minutos. Los plantines se inocularon con el aislamiento UFSC-Pt116, *Pisolithus microcarpus* (Cooke & Masee) Cunn. y fueron cultivados en macetas con una capacidad de 3 litros, con 2,6 litros de suelo, conducidas en CV con una temperatura del aire de 25 ± 3 °C y una humedad relativa del 70 %. Cada dos días, se pesó cada maceta y se añadió agua destilada según fuera necesario para mantener la capacidad de campo al 60 %. A los 100 y 200 días después del trasplante (DAT) de las plántulas, se aplicó la solución nutritiva de Hoagland, que contenía (mg L^{-1}): 105 N; 117 K; 80 Ca; 24,3 Mg; 35 S; 2,5 Fe; 0,01 Cu; 0,075 Zn; 0,25 Mn; 0,25 B y 0,005 Mo, con el fin de garantizar una adecuada disponibilidad de nutrientes.

Se midieron la altura (cm) de las plantas, utilizando una regla graduada (Digimess, 600.004, Brasil) y el diámetro del cuello (mm), utilizando un calibre analógico universal (MTX, 316119, Brasil). A los 300 DAT, se cosecharon todas las acículas de las plantas y fueron utilizadas para determinar el área foliar mediante el software WinRhizo Pro 2013 (Regent Instrument Inc., Canadá), acoplado a un escáner EPSON Expression 11000 equipado con luz adicional (TPU), con una resolución de 600 dpi. A partir de las imágenes generadas se calculó el área foliar de cada planta.

El intercambio de gases de las acículas con el medio ambiente se determinó a los 300 DAT, utilizando un medidor analizador de gases infrarrojos (IRGA) portátil (LI-6400 XT, LI-COR, USA), empleando una radiación fotosintética de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y concentración de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Las evaluaciones de los parámetros fotosintéticos se realizaron en cinco réplicas de cada tratamiento, en tres acículas completamente expandidas en cada planta, en los días soleados, durante la mañana entre las 8:00 y las 10:00 am. A través de esta evaluación se pudo determinar: tasa de asimilación neta de CO_2 ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y eficiencia en el uso del agua (EUA - $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$), obtenida por la relación entre la cantidad de CO_2 fijado por la fotosíntesis y la cantidad de agua transpirada.

El análisis de emisión de fluorescencia (ETRm – velocidad de transporte de electrones) de clorofila a se determinó a 300 DAT, usando un fluorómetro portátil de luz modulada (Fluorómetro de clorofila Junior-Pam Walz Mess-und-Regeltechnik, Alemania). El muestreo se realizó en cinco réplicas de cada



tratamiento, en tres acículas completamente expandidas en cada planta, en los días soleados y durante la mañana entre las 8:00 y las 9:30 am. Antes de las mediciones, las acículas fueron sometidas a condiciones de oscuridad durante 30 minutos para medir la fluorescencia inicial (F_o). Posteriormente, las muestras se sometieron a un pulso de luz de saturación ($10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante 0,6 s, determinando así la máxima fluorescencia (F_m). El rendimiento cuántico máximo de fluorescencia variable y máxima del fotosistema II (PSII) (F_v / F_m) se obtuvo mediante la relación de fluorescencia variable ($F_v = F_m - F_o$) y la fluorescencia máxima.

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA). La normalidad de los residuos se probó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y las medias se compararon mediante la prueba t de Student ($p < 0,001$), utilizando el software R (FERREIRA et al., 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inoculación de hongos micorrícicos promovió los valores más altos de altura, área foliar específica, eficiencia en el uso del agua y velocidad de transporte de electrones (Gráfico 1a, c, d, e). Esto puede haber ocurrido porque las micorrizas permiten que las plantas crezcan mejor en área foliar, altura, aumentando la absorción de agua y nutrientes, así como una mayor producción de biomasa.

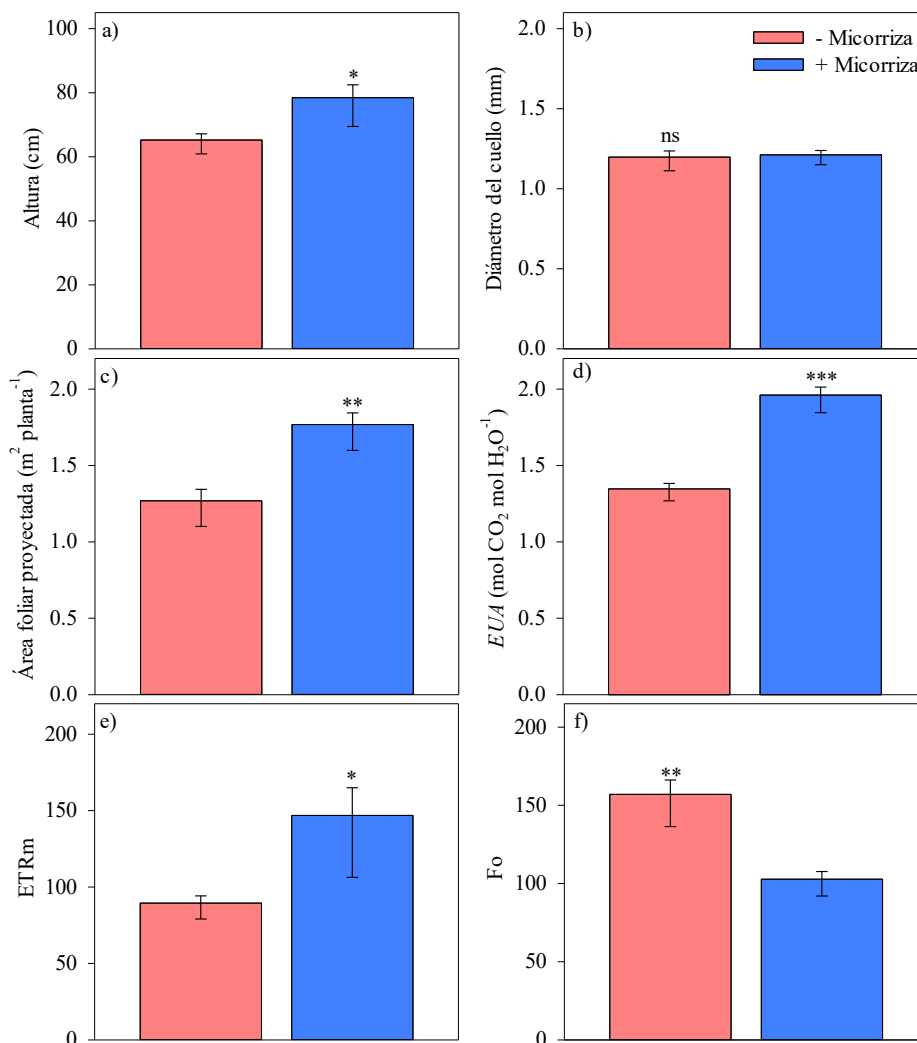


Gráfico 1. Altura (a), diámetro del cuello (b), área foliar proyectada (c), EUA – eficiencia del uso del agua (d), ETRm – velocidad de transporte de electrones (e) y F_o – fluorescencia inicial (f) de *Pinus taeda* inoculado con ectomicorriza: - Micorriza y + Micorriza. Las barras verticales indican un error estándar ($n = 5$). Las barras verticales con un asterisco en la parte superior indican una diferencia estadísticamente significativa mediante la prueba t de Student (* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = no significativo).



Las plantas no inoculadas, se encontraban subdesarrolladas, con aspecto clorótico y altamente sensibles a los microorganismos del suelo y a las diferentes condiciones ambientales (OLIVEIRA, 1978). La asociación de plantas con hongos ectomicorrícicos puede promover un aumento de hasta un 80 % del sistema radicular, contribuyendo a la absorción de agua y nutrientes, debido a un mayor volumen de suelo explorado, además de favorecer la liberación y disponibilidad de nutrientes de las formas no disponibles para las plantas, además de aumentar la longevidad de las raíces (KRÜGNER & TOMAZELLO FILHO, 1980). Cabe mencionar que la inoculación con el hongo ectomicorrícico no promovió diferencias significativas en los valores del diámetro del cuello de la planta (Gráfico 1b). Las plantas cultivadas sin inoculación del hongo presentaron los valores iniciales de fluorescencia más altos (Gráfico 1f). En los plantines que no contienen micorrizas, cuando los sistemas de captación de luz del cloroplasto reciben un exceso de energía luminosa, existen cuatro vías posibles para disipar el exceso de energía: se puede perder por disipación térmica o por emisión de fluorescencia; puede ser absorbido por la cadena de transporte de electrones si está trabajando a su máximo potencial; o puede interactuar con los átomos de oxígeno, dando lugar a varias formas activadas de oxígeno, como se observa en las plantas sin la inoculación de hongos micorrícicos, lo que favoreció el estrés y las pérdidas de energía por parte de las plantas (SALIN, 1988).

4. CONCLUSIONES

La inoculación de hongos ectomicorrícicos (*Pisolithus microcarpus*; UFSC-Pt116) en *Pinus taeda* contribuye al crecimiento en altura, debido al aumento del área foliar específica, en consecuencia, se incrementó la eficiencia en el uso del agua y velocidad de transporte de electrones, reduciendo las pérdidas de energía, como la fluorescencia inicial. Esto demuestra la importancia de inocular hongos ectomicorrícicos en *Pinus taeda* para aumentar la actividad fisiológica, contribuyendo al crecimiento de los brotes y, por tanto, a posibles ganancias en el volumen de madera de las plantaciones.

5. LITERATURA CITADA

- ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2010, ano base 2009/ ABRAF. Brasília, 2010. 140 p.
- IBÁ. Relatório Anual. Indústria Brasileira de Árvores, p. 100, 2016
- LANDEWEERT, R. et al. 2001. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution* 16 (5): 248-254,
- MARX, D.H. 1969. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. *Phytopathology* 59 (2): 153-163.
- MELLONI, R. NÓBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O. et al. 2000. Microbiologia de solos de mineração de bauxita reabilitados: 1. Potencial de inóculos e eficiência de fungos, MAs. In: FERTBIO 2000: Biodinâmica do Solo, 2000, Santa Maria - RS. Anais... Santa Maria: UFSM, p. 746-748.
- OLIVEIRA, ODILSON dos SANTOS; BARROS, PAULO LUIZ CONTENTE de 1978. A influência das micorrizas na formação de mudas de "*Pinus caribaea*" Morelet var. hondurensis. Belém do Pará – PA, *Revista Floresta*, p. 66-71
- OLIVEIRA, L.A. MOREIRA, F.W. MOREIRA. F.M.S. 1997. Ocorrências de microrganismos benéficos em ecossistemas amazônicos. In. *Dois Décadas de Contribuições do INPA à pesquisa Agronômica no Trópico Úmido*. Manaus: INPA. p. 221-240.
- PARKE, J.L.; LINDERMAN, R.G.; BLACK, C.H. 1983 The role of ectomycorrhizas in drought tolerance of Douglas-fir seedlings. *New Phytologist* 95 (1): 83-95.
- SALIN, M.L. 1988. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast, *Physiol. Plant.* 72 (3): 681-689
- SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M.; WITSCHORECK, R. 2008. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda Rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no Município de Cambará do Sul-RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 471-480, out./dez,
- TIBBETT, M.; SANDERS, F.E. 2002. Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality. *Annals of Botany* 89 (6): 783-789.



TOMAZELLO FILHO, M. & KRUGNER, T.L. 1980. Formação de ectomicorrizas e crescimento de mudas de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em solo de viveiro infestado artificialmente com *Thelephora terrestris* e *Pisolithus tinctorius* no litoral sul da Bahia. IPEF 21: 21-37

TSANTRIZOS, Y.S. et al. 1991 Antifungal antibiotics from *Pisolithus tinctorius*. *Phytochemistry* 30 (4): 1113-1118



CONTROL DE ACACIA NEGRA (*Gleditsia triacanthos* L.) EN UN PREDIO DE LA PAMPA ONDULADA

Eduardo Augusto PENON^{1,2}, María del Pilar SOBERO Y ROJO^{1,3}, Pablo DE FALCO^{1,2},
Santiago FRESCA⁴

RESUMEN

Gleditsia triacanthos, es una leñosa de comportamiento invasor que produce perjuicios en varias regiones de Argentina y países vecinos. En la región Pampeana húmeda, forma poblaciones que afectan el acceso y tránsito allí donde se desarrolle compitiendo con especies arbóreas o herbáceas. Se determinó la capacidad de brotación de las cepas de plantas jóvenes y se probaron tácticas de control mecánico y mecánico+químico (se probaron dos herbicidas picloram + triclopyr y aminopiralyd) en poblaciones jóvenes y adultas. La cantidad de brotes que pueden emitir las plantas jóvenes está relacionada con el diámetro del árbol, plantas de mayor diámetro produjeron mayor cantidad de brotes, la relación fue lineal y directa. Las plantas jóvenes con tratamientos corte+herbicida, no volvieron a brotar luego de la aplicación al inicio del ensayo. El control mecánico continuo, luego de 5 desbrotes, tuvo un efecto similar al tratamiento químico. Los tratamientos de tala más aplicación de herbicidas fueron los más efectivos en el control de plantas adultas.

Palabras clave: leñosas invasoras, tácticas de control, herbicidas

1. INTRODUCCIÓN

La "acacia negra" (*Gleditsia triacanthos*) es una de muchas especies leñosas de comportamiento invasor que produce perjuicios en varias regiones de Argentina y países vecinos (Ghersa et al., 2002) (Sosa et al., 2015). *G. triacanthos* se presenta formando poblaciones densas de edades y tamaños variados, que producen problemas de visibilidad, acceso, tránsito e impide el desarrollo de otra vegetación arbórea o herbácea.

Esta cualidad invasiva genera efectos sobre la biodiversidad en áreas naturales, ya que reemplaza por competencia la vegetación nativa y por ende modifica el hábitat de la fauna de la región. Otro impacto negativo lo produce afectando los cursos de agua, ya que por lo general forman matas densas de vegetación a la orilla de los ríos y arroyos, provocando modificaciones metabólicas y disminuyendo la biodiversidad de los sistemas acuáticos con el sombreado y el aporte de hojarasca directamente al agua (Giorgi et al., 2013). Según Vilches et al. (2014) mayor densidad de acacias en las márgenes de los arroyos modifica la concentración de nutrientes en el agua, la biomasa de algunas comunidades y su producción.

La "acacia negra" es una planta originaria de Estados Unidos, ingresada a la Argentina con fines ornamentales, para obtener madera y sombra. Suele alcanzar alturas de 25 metros. Sus chauchas forrajeras son muy apetecibles para el ganado lo que ha contribuido a su diseminación. Es caducifolia; florece en la primavera del hemisferio sur; la fructificación se inicia a comienzos del verano (diciembre) y se prolonga hasta entrado el otoño (mayo). Se la encuentra comúnmente en suelos húmedos y fértiles cerca de arroyos y lagos pero habita en una amplia variedad de ambientes entre los que destacan sitios bien drenados, laderas rocosas, campos abandonados, bordes de alambrados y planicies de inundación.

¹ UNLu - Depto. Tecnología

² Producción Vegetal IV (Dasonomía)

³ Protección Vegetal

⁴ Estudiante carrera Ingeniería Agronómica



Es tolerante a las inundaciones, a la sequía e incluso a las condiciones de salinidad. Su madera puede utilizarse para elaborar postes y durmientes, sin embargo las numerosas espinas que presenta en su tronco y ramas hacen muy difícil su poda.

Para el control de leñosas invasoras, se han evaluado distintas tácticas de las cuales el control químico (Harmony, 2016) es el más utilizado, aunque también se realiza el control mecánico mediante el anillado de ejemplares. En años recientes se han propuesto acciones conjuntas, mecánicas (anillado, tala) y químicas como el uso del formulado a base de picloram + triclopyr, ya que la combinación de tácticas ha dado mejores resultados que las acciones por separado (Capello y de la Peña, 2007; Sosa et al., 2015).

La aplicación del herbicida por inyección, previa perforación del tronco (Sosa et al., 2015) se considera una medida de manejo ventajosa comparada con la aplicación mediante pulverización foliar, se minimizan los efectos nocivos sobre el entorno, con un menor riesgo ecotoxicológico y se reducen los costos y tiempo operacionales.

Si bien el control con la mezcla de principios activos arriba mencionada es en general eficiente (Córdoba et al., 2008), los posibles efectos negativos sobre la microflora acuática (Di Marzio et al., 2009) sugieren que sería deseable probar la eficacia de plaguicidas de menor toxicidad, por ello se incluye en este trabajo el empleo del aminopyralid. Se trata de un herbicida selectivo destinado al control de malezas dicotiledóneas y es un producto que normalmente no ofrece peligro, de clase toxicológica IV. También, para valorar la eficiencia de métodos que no incluyan el uso de sustancias químicas se introducen en este proyecto variantes de control mecánico.

Para el control mecánico se pueden aplicar dos métodos de acuerdo al tamaño de las plantas. Las plantas de pequeño tamaño se pueden extraer o defoliar (Ghersa et al., 2002) eliminando (podando) las plántulas y rebrotes de las especies invasoras. La poda es la eliminación mecánica de las partes aéreas de la vegetación. En el caso de árboles de gran tamaño, la poda puede no ser suficiente y talar sería la medida más eficaz.

Cuanto mayor es el tamaño de las plantas, mayor es el tamaño del sistema radical y concordante con ello la cantidad de reservas disponibles para producir el rebrote de la parte aérea (Wencomo y Ortiz, 2011). Para plantas de gran tamaño, de más de 20 cm de dap (diámetro del árbol a 130 cm de altura) y de 8 a 10 m de altura, pueden aplicarse métodos como la tala.

Fue objetivo de este trabajo evaluar tácticas de control mecánico y químico combinadas en plantas jóvenes y adultas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el campo experimental de la Universidad Nacional de Luján (Pampa Ondulada, provincia de Buenos Aires) en bosques espontáneos de *G. triacanthos*.

Control de plantas jóvenes: Ensayo de control mecánico + químico en plantas de pequeño tamaño (menos de 10 cm de diámetro en el cuello de la planta medido a 3 cm de altura).

Se realizó un ensayo de diseño completamente aleatorizado con los siguientes tratamientos:

T0: Corte inicial de todas las plantas, a 3 cm de altura y cortes subsiguientes de todos los rebrotes, cada 30 días y mientras duró del ensayo. Control mecánico continuo durante todo el ensayo (180 días)

T1: Corte inicial de todas las plantas, a 3 cm de altura y un corte del rebrote a los 30 días. Luego no se intervino el tratamiento durante el resto del ensayo (180 días) sólo se contaron los brotes mensualmente. Control mecánico con 1 desbrote a los 30 días.

T2: Corte inicial de todas las plantas, a 3 cm de altura y un corte del rebrote a los 60 días. Luego no se intervino el tratamiento durante el resto del ensayo (180 días) sólo se contaron los brotes mensualmente. Control mecánico con 1 desbrote a los 60 días.



T3: Un corte inicial de todas las plantas, a 3 cm de altura y una única aplicación, sobre la cepa, del herbicida formulado (SL⁵ 46,7 %) a base de aminopyralid al 1 %.

T4: Un corte inicial de todas las plantas, a 3 cm de altura y una única aplicación, sobre la cepa, del herbicida formulado mezcla (OL⁶ 4,4 % + 8,3 %) a base de picloram + triclopyr al 4 %.

Los tratamientos incluyeron 12 plantas cada uno con un total de 60 para el ensayo. El número de brotes emitidos por los tocones fue sometido a test estadístico. Se comprobaron los supuestos del ANOVA y se realizó análisis de varianza y test de comparación de medias LSD.

Control de plantas adultas: Control mecánico (tala) y químico en plantas de gran tamaño (más de 15 cm de dap).

Se realizó tala + control químico con 2 tratamientos de herbicidas y un testigo, con un diseño completamente aleatorizado y 9 repeticiones de una planta cada una totalizando 27 para todo el ensayo.

Testigo: tala y aplicación de agua

T1: tala y aplicación de formulado base de picloram 4,4 %+ triclopyr 8,3 % - caldo de aplicación al 4 %

T2: tala y aplicación de formulado a base de aminopyralid 46,17 % - caldo de aplicación al 1 %.

Los herbicidas se aplicaron inmediatamente después de la tala según recomendación de marbete (CASAFE, 2015).

Se contaron los brotes emitidos por los tocones cada 30 días durante 6 meses. El número de brotes emitidos por los tocones fue sometido a test estadístico. Se comprobaron los supuestos del ANOVA y se realizó análisis de varianza y test de comparación de medias LSD.

3. RESULTADOS

Control de plantas jóvenes

Pasados 63 días del inicio del ensayo, la diferencia en cantidad de brotes por tocón fue estadísticamente significativa. Se observaron diferencias entre los tratamientos con herbicidas que no tuvieron brotes (T3 y T4) y el resto de los tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Evaluación a los 63 días. Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,04859 Error: 6,2697 gl: 55

Tratamiento	Medias
T2	4,50 a
T1	3,58 ab
T0	2,08 b
T3	0,00 c
T4	0,00 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Referencias: T0: control mecánico continuo, T1: control mecánico 30 días, T2: control mecánico 60 días, T3: control mecánico + aminopyralid, T4: control mecánico + picloran+triclopyr

A los 182 días de realizado el control mecánico y/o químico de las plantas, el tratamiento de control mecánico continuo tuvo un promedio de 0,17 brotes por planta, ésta información corresponde a una sola planta que produjo 2 brotes entre el día 151 y el día 182 (última toma de dato hasta el presente) esa planta tuvo el mayor diámetro de todo el ensayo (8 cm), ello explicaría la persistencia de la brotación luego de 5 desbrotes (1 mensual). El control mecánico continuo no se diferenció de los tratamientos corte+herbicida, que no volvieron a brotar luego de la aplicación al inicio del ensayo. Los desbrotes a los 30 y 60 días del corte, que luego no fueron intervenidos, tuvieron comportamiento similar con al menos 4 brotes y fracción, de promedio, lo que indica que un desbrote posterior al corte no sería suficiente para el control. Cuadro 2.

La cantidad de brotes que puede emitir un árbol hasta agotar sus reservas está relacionada con el diámetro del árbol, a mayores diámetros es mayor la cantidad de brotes que pueden ser emitidos. Para

⁵ SL: concentrado soluble

⁶ OL: líquido miscible en aceite



corroborar esta información se utilizó el número de brotes de las plantas a las que se les eliminaron los brotes cada 30 días y se analizó la relación entre los diámetros de las plantas y la sumatoria de los brotes emitidos. Se puede observar en el gráfico 1, que la relación es lineal y directa y la explicación más sencilla es que mayores diámetros del árbol indican mayor biomasa y mayor cantidad de reservas que permiten mayor cantidad de brotes emitidos, tal como lo han citado Valfré-Giorello et al. (2019).

Cuadro 2. Número de brotes a 182 días de iniciado el ensayo.

	Número promedio de brotes
T1	4,42 a
T2	4,33 a
T0	0,17 b
T4	0,00 b
T3	0.00 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,99568. Error: 5.9500 gl: 55. Referencias: T0: control mecánico continuo; T1: control mecánico 30 días; T2: control mecánico 60 días; T3: control mecánico + aminopyralid; T4: control mecánico + picloran+triclopyr

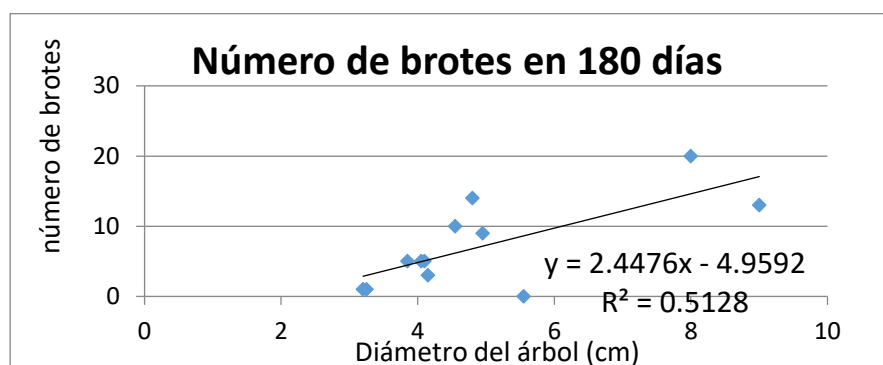


Gráfico 1. Número de brotes en función del diámetro del cuello del árbol.

Control de plantas adultas

Las plantas adultas, de más de 15 cm de dap sometidas a control mecánico (tala) + químico, fueron afectadas por la aplicación de en grado similar. A los 28 días de aplicados los tratamientos ya fue afectada significativamente la capacidad de rebrote, en el cuadro 3 se muestra que mientras el testigo tuvo 4,67 brotes de promedio, los tratamientos químicos no habían rebrotado.

Luego, a los 147 días del inicio del ensayo, el testigo sin herbicida tuvo 10,56 brotes de promedio y los tratamientos con aminopyralid y picloram + tricopyr tuvieron sólo 0,11 brotes promedio, debido al rebrote tardío de una sola cepa de cada uno de los tratamientos con herbicidas (Cuadro 4), coincidiendo con plantas de diámetros entre 19 y 20 cm, pertenecientes al grupo de árboles de mayor diámetro de todo el ensayo. El promedio de dap del ensayo fue de 15,47 cm con un desvío estándar de 3,85 cm.

Cuadro 3. Rebrote a 28 días de la tala.

Tratamiento	Promedio brotes
Testigo	4.67 a
Aminopyralyd	0.00 b
Picloram + triclopyr	0.00 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Test: LSD Fisher, DMS=2.67924, Error: 7.5833 gl: 24

Cuadro 4. Rebrote de cepas a 147 días de la tala.

Tratamiento	Promedio brotes
Testigo	10.56 a
Aminopyralyd	0.11 b
Picloram+triclopyr	0.11 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Test: LSD Fisher, DMS=7.08861, Error: 53.0833, gl: 24



El control mecánico de *Gleditsia triacanthos*, mediante tala y desbrote, es factible tanto en plantas jóvenes, de menos de 8 cm de diámetro al cuello, como en plantas adultas. Pero ello requiere de repetidas intervenciones, tal vez durante más de un año.

En este trabajo se procedió al desbrote cada 30 días aproximadamente lo que mantiene condiciones de estrés en las plantas y exige un gran consumo de reservas, esta metodología es recomendable ya que realizar desbrotos esporádicos podría no tener el efecto deseado y ante una eventual suspensión podría malograrse el trabajo.

Los resultados del ensayo de control de plantas jóvenes que asocian el número de brotes al diámetro de las plantas, indicarían que las mejores oportunidades de éxito en el control ya sea mecánico (tala con desbrote continuado) o tala combinada con aplicación de herbicida, se logran cuando los diámetros de las plantas son relativamente bajos.

El tratamiento combinado, mecánico+químico, parece dar muy buenos resultados en el control en plantas pequeñas o grandes.

Nuestros resultados son de un período de vegetación y debe continuarse la observación para precisar los efectos de los tratamientos propuestos.

Trabajo financiado por: Proyectos de Investigación Articulados con Centros de Investigación, Docencia y Extensión. RES REC N° 213/19. Universidad Nacional de Luján

4. LITERATURA CITADA

- CAPELLO, V.; de la PEÑA, C. 2007. Propuesta de manejo de acacia negra (*Gleditsia triacanthos*) en la cuenca del río Luján. Informe de gestión ambiental 2007. Secretaría de Política Ambiental, Provincia de Buenos Aires, pp. 25.
- CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). (2015). Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina 2017/2017. 17 Edición. pp. 1200
- CORDOBA, L.; ADEMA, E.; BABINEC, F.; RODRIGUEZ, N.; ERNST, R. 2008. Control químico de arbustos para prevenir la destrucción de alambrados por incendios Publicación Técnica N° 75 EEA INTA Anguil Impreso en los talleres gráficos de la E.E.A. INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Di MARZIO W; SÀENZ, M.E.; J. ALBERDI; N. FORTUNATO; M. TANGORRA; V. CAPELLO; G. AMBRINI. 2009. Estrategia de manejo de acacia negra (*Gleditsia triacanthos*) en la cuenca del Río Luján, Evaluación ecotoxicológica del herbicida Togar BT. Revista argentina de ecotoxicología y contaminación ambiental 1(1): 1-7.
- GHERSA, Claudio M.; Elba de la FUENTE; Susana SUAREZ y Rolando J.C. LEON. 2002. Woody species invasion in the Rolling Pampa grasslands, Argentina Agriculture, Ecosystems and Environment 88: 271–278
- GIORGI, A.; C. VILCHES; MC. RODRÍGUEZ CASTRO; E. ZUNINO; J. DEBANDI; S. KRAVETZ y A. TORREMORELL. 2013. Efecto de la invasión de acacia negra (*Gleditsia triacanthos* L. (Fabaceae)) sobre la temperatura, luz y metabolismo de un arroyo pampeano. Acta biol. Colomb. 19(1):99-106.
- HARMONEY, K. R. (2016) Control of Individual Honey Locust Trees in Grazed Pasture. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 2: Iss. 2. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.1184>
- SOSA, B.; N. CABALLERO; A. CARVAJALES; G. FERNÁNDEZ. (2015). "Control de *Gleditsia triacanthos* en el Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay". Ecología Austral 25: 250-254.
- VILCHES C., TORREMORELL A., DEBANDI J., RODRÍGUEZ CASTRO M.C., RIGACCI L., ZUNINO E., KRAVETZ S. Y GIORGI A. 2014. Efecto de la invasión de Acacia Negra (*Gleditsia triacanthos* L.) sobre arroyos pampeanos. Biología Acuática 30: 241-248.
- VALFRÉ-GIORELLO, T. A., R. C. TORRES, F. R. BARRI & D. RENI SON. 2019. Control mecánico del árbol no nativo *Ligustrum lucidum* (Oleaceae): supervivencia, regeneración y costos. Bol. Soc.Argent. Bot. 54: 93-104.
- WENCOMO, Hilda B y R. ORTIZ. (2011). Capacidad de recuperación de 23 accesiones de *Leucaena* spp. después de la poda. Pastos y Forrajes, Vol. 34 (1): 53-68.



INVASIONES BIOLÓGICAS: OTRA ESPECIE PLAGA AGALLADORA ASOCIADA A LOS EUCALIPTOS PRESENTE EN EL PAÍS

Carmen M. HERNÁNDEZ¹, Daniel AQUINO², Sergio O. RAMOS³, Andrea V. ANDORNO¹

RESUMEN

Existen numerosas plagas asociadas a los eucaliptos originarias de Australia que invadieron el resto del mundo y se transformaron en importantes plagas tales como los insectos defoliadores y los agalladores. Entre los insectos agalladores, el género *Ophelimus*, presenta varias especies plaga que están en continua expansión y causan graves daños en las plantaciones de eucaliptos en el mundo. En la región existe una creciente preocupación por el arribo y la dispersión de plagas invasoras asociadas a los eucaliptos. En nuestro país en el 2013 se detectó la presencia de *O. maskelli* y más recientemente se registró la presencia de otra especie agalladora de la lámina de las hojas del mismo género aún no identificada. La falta de información acerca de la nueva especie hallada dificulta su detección en las plantaciones. En el presente trabajo se relevó la presencia de la nueva especie del complejo *Ophelimus* en diferentes especies de eucaliptos y se describen sus agallas para su identificación en el campo. Es fundamental estudiar a esta plaga de reciente detección en el país y monitorear su distribución y expansión en la región.

Palabras clave: *plantaciones forestales, plaga forestal, insecto inductor de agallas*

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas plagas asociadas a los eucaliptos originarias de Australia que invadieron el resto del mundo y se transformaron en importantes plagas en su rango de distribución expandida, tales como los insectos defoliadores y los insectos agalladores (Branco et al., 2016). Entre las plagas invasoras hay varias especies inductoras de agallas, que provocan importantes daños en las plantaciones, como *Leptocybe invasa* y el complejo de especies del género *Ophelimus* (Hymenoptera: Eulophidae) (Dittrich-Schröder et al., 2020). Las agallas son formaciones que comprenden modificaciones morfológicas y fisiológicas que ocurren en tejidos u órganos de las plantas debido al estímulo químico y desarrollo de un organismo inductor (Gonzalez y Solis, 2015). Ocasionan pérdida de sustancias, bloqueos de vasos conductores y atrofia de los órganos afectados, lo que repercute en la productividad de la especie (Foss & Rieske, 2004).

La identificación y clasificación de los himenópteros formadores de agallas en los eucaliptos es compleja (Dittrich-Schröder et al., 2020). El género *Ophelimus* presenta varias especies: *O. eucalypti*, *O. maskelli*, *O. migdanorum* y *O. mediterraneus* que están en expansión y causan daños en las plantaciones forestales (Protasov et al., 2007; Branco et al., 2016, Borowiec et al., 2019). En Argentina están presentes al menos dos especies del género *Ophelimus*: *O. maskelli* que fue detectada en el 2013 en el país conjuntamente con su biocontrolador, *C. chamaeleon* (Aquino et al., 2014) y otra especie del género *Ophelimus* aún no identificada a nivel de especie en plantaciones de *Eucalyptus viminalis* y *E. dunnii* en Buenos Aires, mencionada como *Ophelimus* sp. (Hernández, 2017-Aviso detección al SINAVIMO, SENASA). En el presente trabajo se registra la presencia de *Ophelimus* sp. en diferentes especies de eucaliptos y se describen las agallas para su identificación en campo.

¹ Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) INTA Castellar

² Universidad Nacional de La Plata, CEPAVE

³ Protección Forestal EEA Concordia INTA



2. MATERIALES Y MÉTODOS

En 2019 se llevó a cabo un relevamiento sobre distintas especies de eucalipto en 4 plantaciones ubicadas en las localidades bonaerenses de Castelar y 25 de Mayo colectándose más de 5000 ejemplares adultos de *Ophelimus* sp. En cada plantación se inspeccionaron al menos 10 árboles seleccionados al azar. Cada árbol fue examinado visualmente para registrar la presencia de *Ophelimus* sp. a través del registro de agallas de esta especie acorde a su aspecto externo. En cada árbol con ataque de la plaga se tomaron muestras de ramas (2-4), consistente en un trozo de 50–60 cm de longitud con 20-30 hojas. Las ramas se colocaron en bolsas plásticas rotuladas y se acondicionaron en cajas térmicas con temperaturas inferiores a 10-12 °C para su traslado al laboratorio. Para cada muestra obtenida se detalló la especie hospedera, la edad de la plantación, la fecha y las coordenadas geográficas. En el laboratorio las hojas con agallas fueron acondicionadas en frascos de vidrio donde se mantuvieron por un mes. Se registró la emergencia de insectos adultos cada 2/3 días y bajo microscopio estereoscópico se identificaron y cuantificaron las especies de insectos plaga y entomófagos asociados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de *Ophelimus* sp.

Se trata de una plaga que induce agallas en la lámina foliar de *Eucalyptus* spp. Las agallas de *Ophelimus* sp. son de forma circular y en cada agalla se desarrolla un individuo (Tabla 1). En la Tabla 1 se detalla la morfología de las agallas de *Ophelimus* sp. y *O. maskelli*, ambas especies presentes en el país.

Tabla 1. Comparación de la morfología de las agallas de *Ophelimus* sp. y *Ophelimus maskelli*.

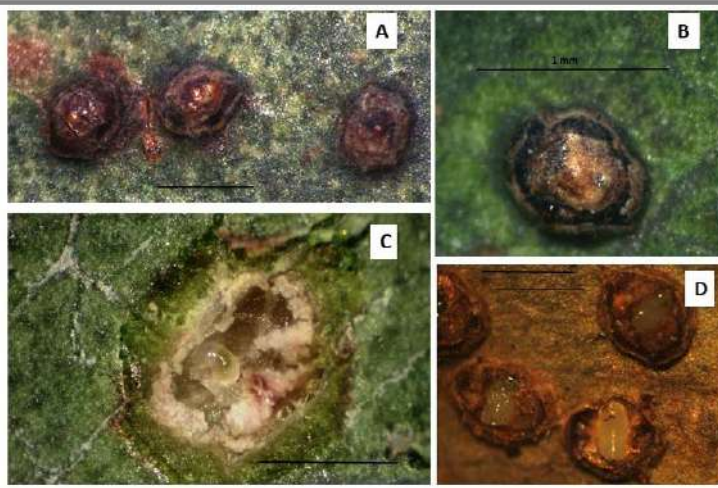
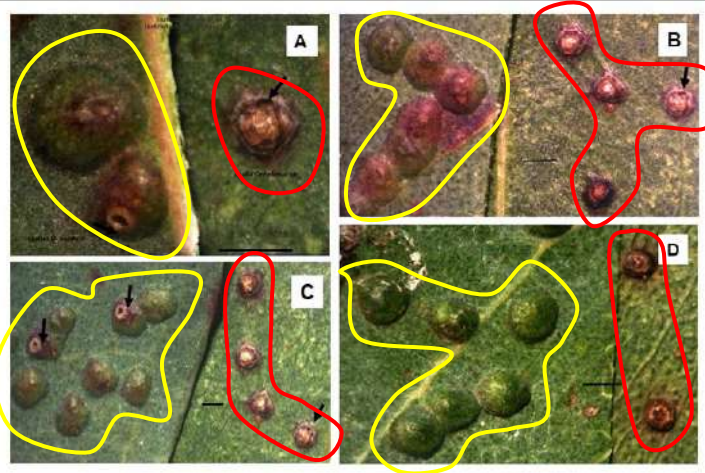
Especie	Morfología externa agalla	Fotos
<i>Ophelimus</i> sp.	Las agallas se desarrollan en una sola cara de la hoja (superficie axial o abaxial). Son de forma circular, y de menor tamaño que las de <i>O. maskelli</i> . Son de coloración oscura, gris-amarronada y tienen un aspecto exterior áspero/rugoso.	 <p data-bbox="655 1682 1375 1803">A-D: detalle de agallas de <i>Ophelimus</i> sp en <i>E. viminalis</i>. Escala: 1mm. A-B: aspecto externo de agallas. C-D: disecciones de agallas donde se observan las larvas y pupas del insecto en el interior de las agallas.</p>



Tabla 1. Comparación de la morfología de las agallas de *Ophelimus* sp. y *Ophelimus maskelli*. Continuación

Especie	Morfología externa agalla	Fotos
<i>Ophelimus maskelli</i>	Las agallas se desarrollan en ambas superficies de la lámina foliar. Son circulares a lentiformes, pudiendo confluir las ubicadas cercanas cuando la densidad es alta, formando agallas coalescentes. Son de coloración verde o rojiza y con un aspecto exterior suave.	 <p>A-D: agallas desarrolladas de <i>Ophelimus maskelli</i> en <i>E. tereticronis</i> (amarillo) y <i>Ophelimus</i> sp. en <i>E. viminialis</i> (rojo). Escala: 1 mm. Las flechas indican los orificios de salida de los insectos adultos cuando completan su desarrollo.</p>

Los insectos adultos de *Ophelimus* sp. son muy semejantes a los de *O. maskelli* en tamaño y coloración, pero se diferencian únicamente por la cantidad de setas en la vena submarginal del ala anterior. En *Ophelimus* sp. se observan de dos a cuatro setas. (Figura 1), mientras que *O. maskelli* presenta una única seta en la vena marginal del ala anterior (Protasov et al., 2007).

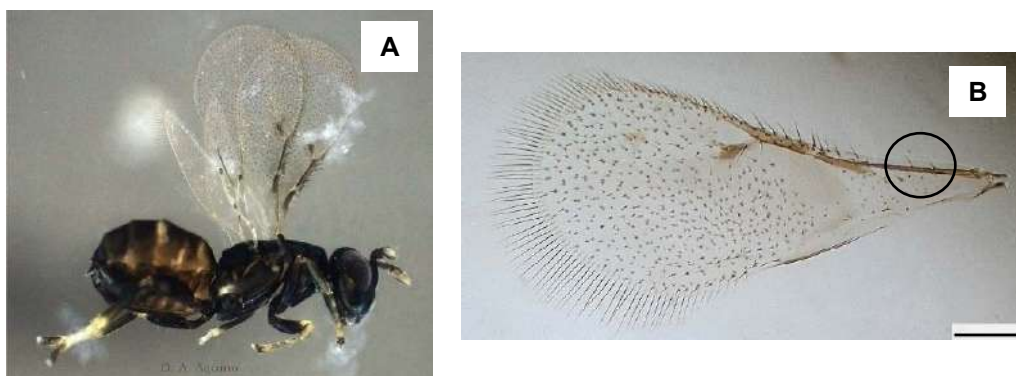


Figura 1. *Ophelimus* sp. A: Insecto adulto. B: Escala: 0,1mm. Detalle del ala anterior donde se indican con un círculo las setas características de la especie (en este ejemplar 2 setas).

Relevamiento

En el relevamiento de *Ophelimus* sp. en plantaciones llevado a cabo durante noviembre y diciembre del 2019 se registraron ejemplares atacados de *E. camaldulensis* en Castelar y *E. viminialis*, *E. cinerea* y *E. camaldulensis* en 25 de Mayo (Figura 3). Se colectaron un total de 5990 insectos adultos de *Ophelimus* sp. y se registró al parasitoide *C. chamaeleon* asociado a las agallas de la plaga, pero en muy baja abundancia (≤ 9 individuos /plantación) (Figura 2).

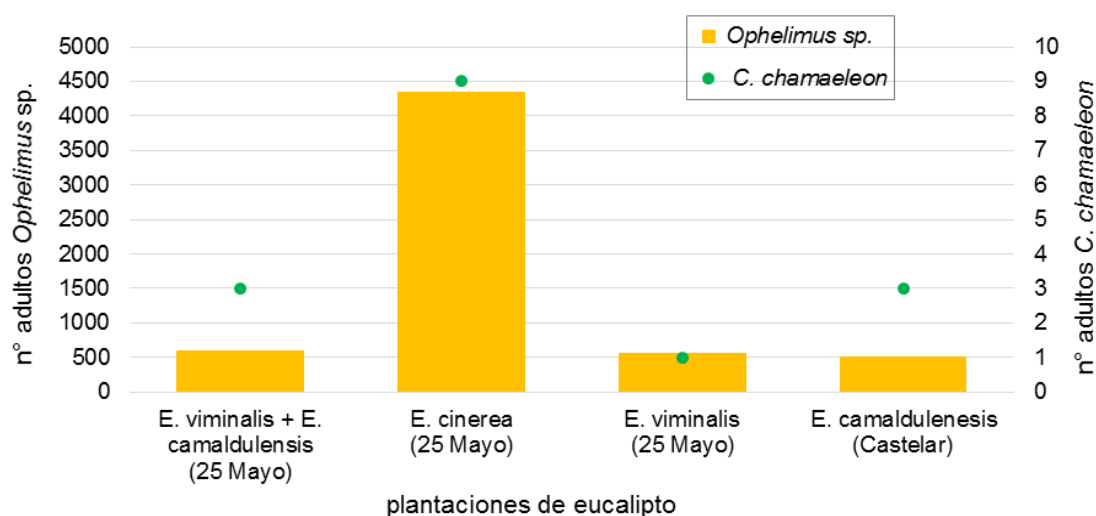


Figura 2. Registro de *Ophelimus* sp. en diferentes plantaciones de eucaliptos

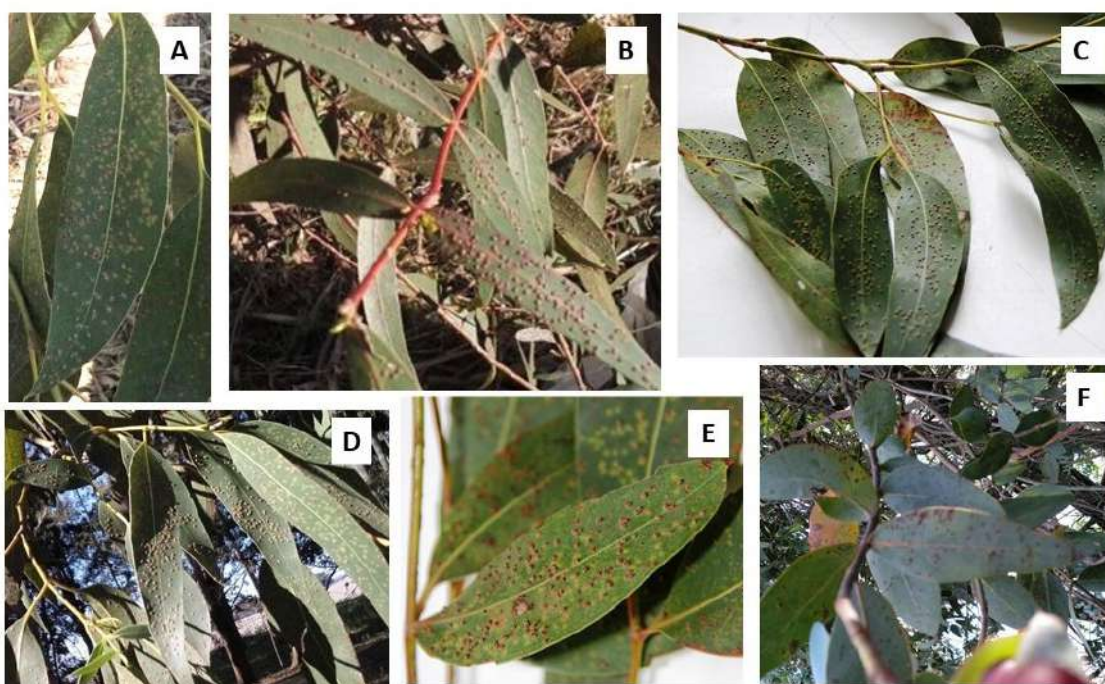


Figura 3. Hojas de eucaliptos con alta densidad de agallas de *Ophelimus* sp. A-E: Ramas de *E. viminalis*. F: Rama de *E. cinerea*.

La identificación de las especies del género *Ophelimus* asociadas a los eucaliptos es compleja, estudios recientes han incorporado análisis de filogenia molecular para la caracterización de las especies. A partir de 2019 se describieron dos especies nuevas: *O. mediterraneus* y *O. migdanorum*. La primera es una especie registrada en Francia en 2010 que actualmente está en Italia y Portugal asociada a *E. camaldulensis*, *E. globulus* y *E. gunnii* (Borowiec et al., 2019). Es una especie que induce agallas en la lámina foliar, elipsoidales y de forma cónica (Borowiec et al., 2019). Por su parte, *O. migdanorum* fue registrada en Chile en 2003 asociada a *E. globulus* y *E. camaldulensis* (Molina-Mercader et al., 2019b). Induce la formación de agallas en la lámina, la nervadura central, el peciolo y las ramas (Molina-Mercader et al., 2019 a y b). La información acerca de la biología de ambas especies es aún escasa. En relación a los biocontroladores de las plagas del género *Ophelimus* se registró en Argentina la presencia del parasitoide *C. chamaeleon* asociado a *O. maskelli* en Buenos Aires y en Entre Ríos donde



actualmente presenta altos niveles de parasitismo (rango: 30-100%) (Hernández et al., 2018). Estudios actuales mencionan que si bien *C. chamaeleon* puede oviponer en *O. mediterraneus* en el laboratorio, en el campo no se ha registrado parasitismo debido a un desfase temporal en el ciclo de vida del parasitoide y la plaga en el campo (García et al., 2019). En el caso de *O. migdanorum* se propone la hipótesis de su rol como parasitoide de esta plaga (Molina mercader et al., 2019 b). Todavía es escasa la información que tenemos sobre la especie agalladora *Ophelimus* sp. y surgen interrogantes tales como: ¿*Ophelimus* sp.: es una especie aún no descrita? ¿El biocontrolador *C. chamaeleon* presente en el país puede disminuir la abundancia de *Ophelimus* sp.?

Por todo lo expuesto es necesario avanzar en el estudio de esta plaga: caracterizar la especie a través de estudios moleculares de los insectos adultos y conocer aspectos básicos de su biología (plantas hospederas, desarrollo estacional, etc.) y de sus potenciales enemigos naturales para poder tomar acciones concretas para el manejo de esta plaga en el sistema productivo. Asimismo, es necesario estar atentos ante su expansión/dispersión en la región y en los países vecinos.

5. LITERATURA CITADA

- AQUINO, D.A.; HERNÁNDEZ, C.M.; CUELLO, E.; ANDORNO, A.V.; BOTTO, E.N. 2014. Primera cita de la Argentina de *Ophelimus maskelli* (Ashmead) (Hymenoptera: Eulophidae) y su parasitoide, *Closterocerus chamaeleon* (Girault) (Hymenoptera: Eulophidae) Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 73 (3-4):179-182.
- BOROWIEC, N.; LA SALLE, J.; BRANCACCIO, L.; THAON, M.; WAROT, S.; BRANCO, M.; RIS, N.; MALAUSA, J. C.; BURKS, R. 2019. "*Ophelimus mediterraneus* sp. N. (Hymenoptera, Eulophidae): A new *Eucalyptus* gall wasp in the Mediterranean region". Bulletin of Entomological Research, 109(5), 678-694. doi:10.1017/S0007485318001037.
- BRANCO, M.; BATTISTI, A.; MENDEL, Z. 2016. Foliage Feeding Invasive Insects: Defoliators and Gall Makers, 217-222 pp. In: Paine T., Lieutier F. (eds) Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24744-1_8
- DITTRICH-SCHRÖDER, G.; HURLEY, B.P.; WINGFIELD, M.J.; NAHRUNG, H.F.; SLIPPERS, B. 2020. Invasive gall-forming wasps that threaten non-native plantation-grown *Eucalyptus*: diversity and invasion patterns. Agr Forest Entomol. doi:10.1111/afe.12402
- FOSS, L.K.; RIESKE, L.K. 2004. Stem galls affect oak foliage with potential consequences for herbivory. Ecological entomology 29(3): 273-280.
- GARCÍA, A.; GONÇALVES, H.; BOROWIEC, N.; FRANCO, J.; BRANCO, M. 2019. "*Ophelimus* sp., a new invasive gall wasp of *Eucalyptus globulus* in Europe, escapes the parasitism by *Closterocerus chamaeleon* due to an asynchronous life cycle". Biological Control 131, 1–7.
- GONZALEZ, A.M.; SOLÍS, S.M. 2015. Anatomía y morfogénesis de las agallas producidas por *Leptocybe invasa* en plantas de *Eucalyptus*, Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 50(2):141-151.
- HERNÁNDEZ, C.M.; RAMOS, S.O.; FLORES, M.; ANDORNO, A.V. 2018. Los insectos agalladores asociados a los eucaliptos y sus biocontroladores. XXXII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, octubre 2018. ISSN1668-8279.
- HERNÁNDEZ, C. 2017. Comunicado de aviso de detección N° 10557 de *Ophelimus* sp. en Argentina a Sinavimos-SENASA
- MOLINA MERCADER, G.; ANGULO, A.O.; SANFUENTES, T.; CASTILLO-SALAZAR, E.; HASBUN, M.; ROJAS, R.; TORO, E.; BENÍTEZ, O. 2019a. *Ophelimus migdanorum* Molina-Mercader sp. nov. (Hymenoptera: Eulophidae): Application of Integrative Taxonomy for Disentangling a Polyphenism Case in *Eucalyptus globulus* Labill Forest in Chile. Forests. 10. 720. 10.3390/f10090720.
- MOLINA-MERCADER, G.; ANGULO, A.O.; SANFUENTES, T.E.; HASBÚN, R.; OLIVARES, T.; CASTILLO-SALAZAR, M.; GOYCOOLEA, C. 2019b. Detection and distribution of *Ophelimus migdanorum* and its possible biocontroller *Closterocerus chamaeleon* in productive areas of *Eucalyptus globulus* in Chile. Chilean Journal of Agricultural Research 79(3): 341-344.
- PROTASOV, A.; LA SALLE, J.; BLUMBERG, D.; BRAND, D.; SAPHIR, N.; ASSAEL, F. 2007. Biology, revised taxonomy and impact on host plants of *Ophelimus maskelli*, an invasive gall inducer on *Eucalyptus* spp. in the Mediterranean area. *Phytoparasitica* 35: 50-76.



CONTROL BIOLÓGICO DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS, PRIMERA PARTE: ATRACTIVIDAD DE UN CEBO BIOLÓGICO COMERCIAL EN HORMIGUEROS DE *Atta sexdens*; L., 1758

Abel SCHERF¹, Edgar ESKIVISKI²

RESUMEN

Las hormigas cortadoras de hojas son la principal plaga de las forestaciones en el neotrópico y también afectan significativamente a cultivos agrícolas. Existen dos géneros, *Atta* y *Acromyrmex*, ambos con especies presentes en Argentina. En Misiones la “hormiga minera” (*Atta sexdens*) es la más problemática por el daño que producen a las plantaciones y por su dificultoso control. A pesar de que el control químico es la forma más empleada en la actualidad, el desarrollo e implementación de métodos de control biológico es muy importante, tanto para disminuir la contaminación como para cumplir con los estándares requeridos por los organismos de certificación de sustentabilidad como el FSC. En este trabajo se evaluó la atraktividad de un cebo hormiguicida biológico, ante hormigueros de *Atta sexdens* en un cultivo agroforestal de yerba mate y kiri. Se obtuvo que la atraktividad es óptima y esta mejora significativamente cuando los hormigueros ya tuvieron contacto previo con el producto. Hormigueros que nunca habían estado en contacto con el cebo demoraron significativamente más, tanto en empezar a llevar como en terminar de llevar por completo una dosis de 10 gramos, en comparación con aquellos hormigueros que días previos ya habían recibido cantidades significativas del cebo biológico.

Palabras clave: *Beauveria bassiana*, manejo integrado, plagas forestales.

1. INTRODUCCIÓN

Las hormigas cortadoras de hojas (HCH) son insectos sociales que cortan hojas de las plantas y las acarrear al interior de sus nidos subterráneos para cultivar un hongo que es su principal fuente de alimentación (Hölldobler & Wilson, 1990). Su distribución natural es neotropical y va desde el sur de los Estados Unidos hasta la Patagonia Argentina (Weber 1982, Cherret 1989). Existen dos géneros, *Atta* y *Acromyrmex*, que se diferencian entre sí tanto por la morfología de sus individuos como la de sus nidos. De las especies de HCH presentes en Misiones, las que provocan mayores daños corresponden a la especie *Atta sexdens* conocida comúnmente como “hormiga minera”.

A pesar de que son especies nativas, varias de las HCH tuvieron verdaderas explosiones poblacionales en los sistemas agrícolas y forestales (Siqueira et al., 2017) presuntamente por la pérdida de enemigos naturales, la disponibilidad de especies vegetales adecuadas para el cultivo de su hongo mutualista y condiciones micro-climáticas y edáficas ideales para la construcción de sus nidos. Por ello, varias especies de HCH son consideradas importantes plagas de los cultivos y su control es un factor determinante para el correcto desarrollo de las plantaciones y la obtención de rédito económico. Por ejemplo, en el caso de las producciones forestales de *Pinus* y *Eucalyptus*, la presencia de hormigas cortadoras de hojas en las etapas tempranas de las plantaciones las puede volver inviables económicamente (Nuñez et al., 2020).

Actualmente se utiliza el control químico para combatir a las HCH, principalmente mediante el uso de cebos combinados con principios activos sintéticos como lo son el fipronil (0,003%) o la sulfiramida (0,3%) (Nuñez et al., 2020). Pero el desarrollo de productos biológicos o aptos para agricultura orgánica reviste cada vez mayor importancia debido a la creciente demanda por parte de productores que se encuentran en diferentes procesos de certificación de sostenibilidad ambiental u orgánicos. Por ejemplo, los

¹ INTA EEA Montecarlo y CONICET. Contacto: scherf.abel@inta.gob.ar

² INTA EEA Montecarlo. Contacto: eskiviski.edgar@inta.gob.ar



productores forestales a través del Forest Stewardship Council (FSC), tealeros y yerbateros por Rainforest-Alliance, entre otros. Tales organismos de certificación tienen prohibido, o en prórroga de uso, los principios activos más usados contra las HCH, como el fipronil y la sulfluramida, y promueven el manejo integrado de plagas como el enfoque apropiado para el abordaje de este problema (FSC, 2019; Rainforest-Alliance, 2020), donde el control biológico es una de las estrategias más convenientes para incorporar a estos planes de manejo integrado de plagas.

El cebo hormiguicida MUMTECH (Agro Advance Technology S.A.) es el primer cebo hormiguicida biológico aprobado para su comercialización en Argentina. Tiene como ingrediente activo al hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* que es un agente de control biológico generalista de artrópodos y, por su formulación como cebo para HCH, es de gran interés evaluar su eficacia ante la especie *A. sexdens*, la más abundante y dañina de la Provincia de Misiones.

El objetivo de este trabajo fue determinar la atraktividad y la eficacia del cebo hormiguicida orgánico para hormigas cortadoras de hojas MUMTECH en nidos de *A. sexdens*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en una plantación mixta de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) y kiri (*Paulownia tomentosa*) propiedad del establecimiento La Misionera S.A. localizada en el municipio de Caraguatay de la provincia de Misiones, Argentina. El clima es subtropical, húmedo, con ocurrencia de heladas invernales y un régimen de precipitaciones isohigro con promedio anual de aproximadamente 1.800 mm. El suelo es del tipo rojo profundo, perteneciente al gran grupo de los Kandudultes, arcillosos y bien drenados (Fernández et al., 2015). En la plantación se observó gran abundancia de hormigueros de *A. sexdens*.

Para evaluar la atraktividad del cebo biológico MUMTECH se estableció un ensayo con diseño experimental completamente aleatorizado con dos tratamientos, el primero –T1: Sin aplicación previa– corresponde a hormigueros que nunca habían entrado en contacto con este producto y el segundo –T2: Con aplicación previa– hormigueros que ya habían recibido una dosis previa de al menos 300 gramos del cebo biológico con una anticipación de entre cinco y 12 días. Se realizaron 10 repeticiones por cada tratamiento, totalizando 20 hormigueros evaluados.

Cuando estaban en actividad de forrajeo, a cada hormiguero se le ofreció al costado de una de sus bocas una dosis de 10 gramos del cebo biológico (Imagen 1) y se tomó registro del tiempo que demoraron en tomar la primera porción de cebo y del tiempo que demoraron en llevarse la dosis completa. Adicionalmente, se examinó si hubo rechazo del producto a las 24 y 48 horas posteriores a la aplicación. La comparación entre los promedios de los tratamientos para las dos variables de tiempo fue efectuado con la prueba t de Student usando la versión estudiantil de InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).



Imagen 1. Detalle de la forma de suministro de la dosis de 10 gramos del cebo biológico a los hormigueros de *A. sexdens* (izquierda) y de una obrera tomando la primera porción del cebo (derecha).



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo que demoraron los hormigueros del tratamiento sin aplicación previa del cebo biológico (T1) en tomar el primer elemento de la dosis de 10 gramos que les fue ofrecida fue de $8,17 \pm 6,11$ minutos (media \pm D.E.), y de $0,57 \pm 0,37$ minutos en el tratamiento con aplicación previa del producto (T2). El resultado de la prueba t de Student indica que las diferencias entre los dos tratamientos son significativas (p -valor= 0,0035; $t= 3,92$; $gl= 18$; $\alpha= 0,05$). Gráfico 1.

Para tomar por completo la dosis de 10 gramos, el tratamiento 1 demoró $108,63 \pm 22,53$ minutos y el tratamiento 2 demoró $31,62 \pm 9,93$ minutos. La diferencia entre los promedios de esta variable de ambos tratamientos resultó significativa en la prueba t de Student (p -valor< 0,0001; $t= 9,89$; $gl=18$; $\alpha= 0,05$). Gráfico 2.

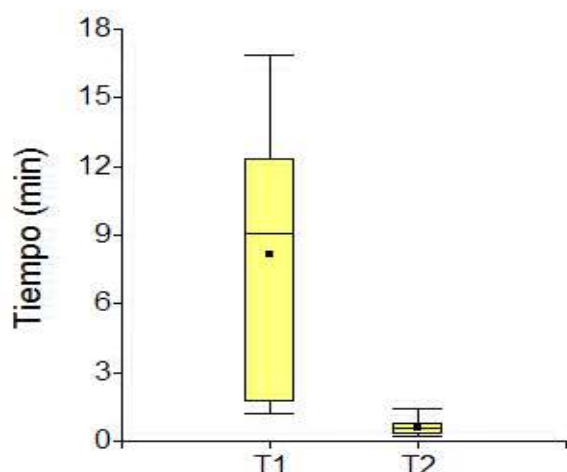


Gráfico 1. Tiempo demorado por las hormigas en tomar el primer elemento de la dosis de 10 gramos de cebo biológico MUMTECH.

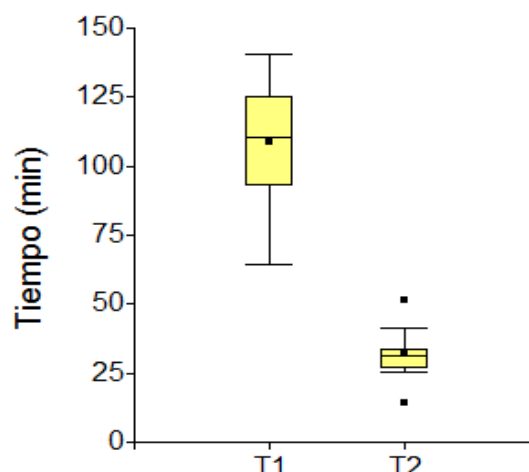


Gráfico 2. Tiempo demorado por las hormigas en tomar toda la dosis de 10 gramos de cebo biológico MUMTECH.

A diferencia de lo que se observa en trabajos de aplicación de cebos químicos, donde los hormigueros que una vez recibieron aplicaciones previas ya no aceptan el suministro de nuevas dosis (De Coll, 1998), en este estudio se obtuvo que los menores tiempos de acarreo del cebo biológico se registraron para el tratamiento que tuvo aplicaciones entre cinco y 12 días previos. Esta cualidad sería favorable en los casos donde hormigueros tratados con este cebo biológico que no manifiesten mortalidad, puedan volver a ser tratados con el producto hasta que la mortalidad ocurra.

En las inspecciones a las 24 y 48 horas posteriores a las aplicaciones, no se observó rechazo del cebo en ninguno de los hormigueros tratados.

4. CONCLUSIONES

La atracción del cebo biológico MUMTECH hacia hormigueros de *A. sexdens* es óptima y se destaca el hecho que hormigueros que ya habían recibido cantidades significativas del cebo, en aplicaciones posteriores aún aceptan el producto e inician el acarreo a mayor velocidad que con hormigueros que nunca tuvieron contacto con el mismo. Se observó que cuando el producto presenta consistencia pastosa, se dificulta el fraccionamiento en campo y también ralentiza el acarreo debido a que las hormigas deben desprender en trozos más pequeños.

5. LITERATURA CITADA

- CHERRET, J. M. 1989. Leaf-cutting Ants, Biogeographical and Ecological Studies, pp. 473-488. In: H. Lieth and M.J. Werger (Eds.) Ecosystem of the world 14h, Tropical Rain Forest Ecosystem. Elsevier, N. Y
- DE COLL, O. 1998. Empleo del cebo Fluramim (Sulfloramida) para el control de *Atta vollenweideri*. INTA CR Misiones, EEA Montecarlo Publicación N°3. Montecarlo, Misiones, Argentina.



- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FERNANDEZ, R; SOSA, D; PAHR, N; VON WALLIS, A; BÁRBARO, S Y ALBARRACIN, S. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Provincia de Misiones. Tomo II. Pág. 187: 200. Roberto Casas y Gabriela Albarracin editores. PROSA – Centro para la promoción de la conservación del suelo y del agua.
- FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC). 2019. *Política de Pesticidas del FSC*. Bonn, Alemania.
- HÖLLDOBLER, B. & WILSON, E.O. (1990) *The Ants*, p. 732. Harvard University Press, Cambridge.
- NUÑEZ, M., PEZZUTTI, R., & CANTARELLI, E. B. (2020). Determinación del daño causado por hormigas cortadoras en la implantación de *Pinus taeda*. *XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos*, 53–57.
- RAINFOREST-ALLIANCE. 2020. Anexo S7: *Gestión de plaguicidas SA-S-SD-8-V1.1 ES*. New York, EEUU. <https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2020/06/ANEXO-7-Gestion-de-plaguicidas.pdf>
- SIQUEIRA, F. F. S., RIBEIRO-NETO, J. D., TABARELLI, M., ANDERSEN, A. N., WIRTH, R., & LEAL, I. R. 2017. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 33(5), 337–344. <https://doi.org/10.1017/S0266467417000311>
- WEBER, N. A. 1982. Fungus ants. In: H. R. Hermann (ed.) *Social insects*. Vol 4. Academic Press, London. pp 255-363.



CONTROL BIOLÓGICO DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS, SEGUNDA PARTE: EFICACIA DE UN CEBO BIOLÓGICO COMERCIAL ANTE HORMIGUEROS JUVENILES DE *Atta sexdens*; L., 1758

Abel SCHERF¹, Edgar ESKIVISKI²

RESUMEN

Las hormigas cortadoras de hojas son la principal plaga de las forestaciones en el neotrópico y también afectan significativamente a cultivos agrícolas. Existen dos géneros, *Atta* y *Acromyrmex*, ambos con especies presentes en Argentina. En Misiones la “hormiga minera” (*Atta sexdens*) es la más problemática por el daño que producen a las plantaciones y por su dificultoso control. A pesar de que el control químico es la forma más empleada en la actualidad, el desarrollo e implementación de métodos de control biológico es muy importante, tanto para disminuir la contaminación como para cumplir con los estándares requeridos por los organismos de certificación de sustentabilidad. En este trabajo se evaluó la eficacia de un cebo hormiguicida biológico, en hormigueros juveniles de *Atta sexdens* en un cultivo agroforestal de yerba mate y kiri en la Provincia de Misiones. Se obtuvieron niveles de mortalidad del 78% en nueve hormigueros juveniles tratados, siendo un valor alentador para un producto biológico.

Palabras clave: *Beauveria bassiana*, manejo integrado, plagas forestales.

1. INTRODUCCIÓN

Las hormigas cortadoras de hojas (HCH) son insectos sociales que cortan hojas de las plantas y las acarrear al interior de sus nidos subterráneos para cultivar un hongo que es su principal fuente de alimentación (Hölldobler & Wilson, 1990). Se distribuyen en el Neotrópico, desde el sur de los Estados Unidos hasta la Patagonia Argentina, con excepción de Chile y algunas regiones insulares (Weber 1982, Cherret 1989). Existen dos géneros, *Atta* y *Acromyrmex*, que se diferencian entre sí tanto por la morfología de sus individuos como la de sus nidos. De las especies de HCH presentes en Misiones, las que provocan mayores daños corresponden a al género *Atta*, puntualmente la especie *Atta sexdens* conocida comúnmente como “hormiga minera”.

A pesar de que son especies nativas, varias de las HCH tuvieron verdaderas explosiones poblacionales en los sistemas agrícolas y forestales (Siqueira et al., 2017) presuntamente por la pérdida de enemigos naturales, la disponibilidad de especies vegetales adecuadas para el cultivo de su hongo mutualista y condiciones micro-climáticas y edáficas ideales para la construcción de sus nidos. Por ello, varias especies de HCH son consideradas importantes plagas de los cultivos y su control es un factor determinante para el correcto desarrollo de las plantaciones y la obtención de rédito económico. Por ejemplo, en el caso de las producciones forestales de *Pinus* y *Eucalyptus*, la presencia de hormigas cortadoras de hojas en las etapas tempranas de las plantaciones las puede volver inviables económicamente (Nuñez et al., 2020).

Actualmente se utiliza el control químico para combatir a las HCH, principalmente mediante el uso de cebos combinados con principios activos sintéticos como lo son el fipronil (0,003%) o la sulfluramida (0,3%) (Nuñez et al., 2020). Pero el desarrollo de productos biológicos o aptos para agricultura orgánica reviste cada vez mayor importancia debido a la creciente demanda por parte de productores que se encuentran en diferentes procesos de certificación de sostenibilidad ambiental u orgánicos. Por ejemplo, los productores forestales a través del Forest Stewardship Council (FSC), tealeros y yerbateros por Rainforest-Alliance, entre otros. Tales organismos de certificación tienen prohibido, o en prórroga de uso, los principios activos más usados contra las HCH, como el fipronil y la sulfluramida, y promueven el manejo

¹ INTA EEA Montecarlo y CONICET. Contacto: scherf.abel@inta.gob.ar

² INTA EEA Montecarlo. Contacto: eskiviski.edgar@inta.gob.ar



integrado de plagas como el enfoque apropiado para el abordaje de este problema (FSC, 2019; Rainforest-Alliance, 2020), donde el control biológico es una de las estrategias más convenientes para incorporar a estos planes de manejo integrado de plagas.

El cebo hormiguicida MUMTECH (Agro Advance Technology S.A.) es el primer cebo hormiguicida biológico aprobado para su comercialización en Argentina. Tiene como ingrediente activo al hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* que es un agente de control biológico generalista de artrópodos y, por su formulación como cebo para HCH, es de gran interés evaluar su eficacia ante la especie *A. sexdens*, la más abundante y dañina de la Provincia de Misiones.

El objetivo de este trabajo fue determinar la eficacia del cebo hormiguicida orgánico para hormigas cortadoras de hojas MUMTECH en nidos juveniles de *A. sexdens*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en una plantación mixta de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) y kiri (*Paulownia tomentosa*) propiedad del establecimiento La Misionera S.A. localizada en el municipio de Caragatay de la provincia de Misiones, Argentina. El clima es subtropical, húmedo, con ocurrencia de heladas invernales y un régimen de precipitaciones isohigro con promedio anual de aproximadamente 1.800 mm. El suelo es del tipo rojo profundo, perteneciente al gran grupo de los Kandudultes, arcillosos y bien drenados (Fernández et al., 2015). En la plantación se observó la presencia de hormigueros de *A. sexdens* de tamaño grande (con montículos de tierra que superaban los 15 m² de superficie) y pequeños y juveniles (montículos menores a 1 m² y de 4 a 6 meses de edad aproximadamente) generados a partir de los vuelos nupciales del año 2020.

Para evaluar la eficacia del cebo biológico se buscaron, midieron y marcaron en el área de estudio 18 hormigueros juveniles de *A. sexdens* originados a partir de los vuelos nupciales de la primavera del 2020, caracterizados por tener uno o dos montículos contiguos de tierra suelta de forma cónica y sin la presencia de la casta de obreras de mayor tamaño conocidas como “soldados”.

Se estableció un ensayo con diseño completamente aleatorizado donde nueve de los hormigueros seleccionados fueron asignados al tratamiento “Cebo” (aplicación del cebo hormiguicida biológico), y los nueve restantes fueron asignados al control (sin aplicación de ningún producto). El tratamiento consistió en el suministro al costado de la boca de los hormigueros de una dosis de cebo biológico de 150 gramos dividida en dos aplicaciones de 75 gramos separadas 48 horas en el tiempo, según lo que se consigna en el prospecto del producto comercial. A los hormigueros tratados con la primera dosis del cebo biológico que a los 25 días aún presentaron actividad (n= 4), se repitió la aplicación de una segunda dosis de 150 gramos usando la misma metodología. En el cuadro 1 se detalla el número de dosis y cantidad total de cebo suministrado a cada hormiguero del experimento.

Cuadro 1. Detalle del tamaño de los hormigueros juveniles de *A. sexdens* utilizados para el experimento y la cantidad de cebo suministrada a cada uno.

Nido	Tratamiento	Diámetro del nido (cm)	Cantidad de bocas	1° dosis (g)	2° dosis (g)	Dosis total (g)
1	Cebo	20	1	150	150	300
2	Cebo	20	1	150	-	150
3	Cebo	40	2	150	150	300
4	Cebo	25	1	150	150	300
5	Cebo	12	1	150	-	150
6	Cebo	25	1	150	-	150
7	Cebo	25	1	150	150	300
8	Cebo	18	1	150	-	150
9	Cebo	25	1	150	-	150
10	Control	23	2	-	-	0
11	Control	23	1	-	-	0
12	Control	18	1	-	-	0
13	Control	30	1	-	-	0
14	Control	30	1	-	-	0
15	Control	30	1	-	-	0
16	Control	10	1	-	-	0
17	Control	25	1	-	-	0
18	Control	28	1	-	-	0



Se examinó si hubo rechazo del producto a las 24 y 48 horas desde cada aplicación. Semanalmente, se evaluó la actividad de todos los hormigueros del experimento y a los 50 días se corroboró fehacientemente la muerte de los hormigueros inactivos mediante la excavación con pala de los mismos. Los hormigueros consignados como inactivos fueron aquellos que externamente se veían sin hormigas ni rastro tanto de tierra fresca como de material recientemente acarreado y abandonado en cercanía de la boca, ocasionalmente se observaba desmoronamiento y taponamiento de las bocas (Imagen 1).

La comparación de la diferencia entre la mortalidad del tratamiento con cebo y la del control fue efectuado con la prueba Chi Cuadrado de Pearson usando la versión estudiantil de InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).



Imagen 1. a) Hormiguero con una dosis de 75 gramos de cebo biológico MUMTECH. b) Hormiguero activo al inicio del ensayo. c) Hormiguero inactivo al finalizar el ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las evaluaciones semanales de la actividad de los hormigueros posteriores a la aplicación de la primera dosis, se observó que a los 25 días cinco de los nueve hormigueros (55%) tratados con 150 gramos del cebo biológico se encontraban inactivos (Imagen 1c). Por ello, la segunda dosis de 150 gramos fue suministrada a los cuatro hormigueros restantes que aún permanecían activos. De esos cuatro hormigueros que recibieron una segunda dosis, 25 días después, dos estaban inactivos y dos activos.

Por lo tanto, a los 50 días luego de la primera aplicación, murieron siete de los nueve hormigueros (78%), cinco de estos habían recibido una sola dosis y dos recibieron dos dosis de 150 gramos cada una. Además, dentro del grupo de los hormigueros testigo, uno se encontraba muerto (Gráfico 3).

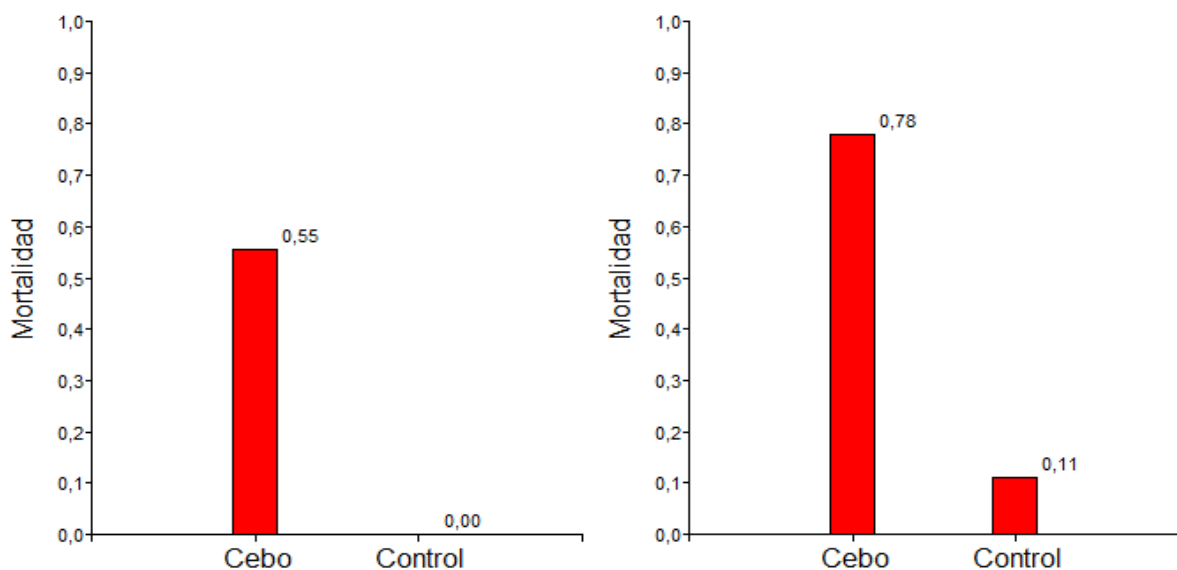


Gráfico 3. Mortalidad a los 25 días (izquierda) y a los 50 días (derecha) de hormigueros juveniles de *A. sexdens* tratados con cebo biológico MUMTECH y el control sin aplicación.



La prueba de Chi Cuadrado arrojó que existe asociación estadística significativa entre el tratamiento aplicado y la actividad de los nidos (p -valor= 0,0044; α = 0,05). Los nidos inactivos en la evaluación a los 50 días fueron excavados con pala para confirmar fehacientemente su muerte (Imagen 2).



Imagen 1. Excavación de un nido inactivo de *A. sexdens* para corroborar fehacientemente su muerte.

En ningún caso en las aplicaciones del cebo biológico se ha observado rechazo, ni siquiera en aquellos nidos que luego de 25 días recibieron una segunda dosis, esto se considera óptimo desde el punto de vista de la atractividad del producto ya que permite repetir aplicaciones cuando no ocurre mortalidad en aplicaciones previas.

Consideramos que los valores de mortalidad obtenidos en este estudio son alentadores, y comparables con los niveles de mortalidad de 87,5% obtenidos por De Coll & Ribeiro (2003) con un cebo químico a base de sulfluramida (0,3%) en ocho hormigueros de *Atta* spp. de tamaño promedio del montículo de aproximadamente 23 m² y una dosis única de 10 g*m⁻². También Pinheiro da Cruz et al. (1996) obtuvieron valores de mortalidad del 89% con cebo a base de sulfluramida (0,3%) a una dosis de 10 g*m² en nidos de *A. sexdens* de un tamaño promedio del montículo de 30,9 m². Para el caso de cebos con fipronil White (1998) obtuvo control del 94% de los hormigueros tratados.

4. CONCLUSIONES

Si bien en este estudio se evaluó la efectividad del cebo biológico MUMTECH solamente ante hormigueros juveniles de *A. sexdens*, el resultado obtenido permite recomendar el producto dentro de un marco de manejo integrado de esta importante plaga, en la etapa posterior de la fundación de los hormigueros, cuando se observe la apertura de los nuevos hormigueros por parte de las obreras y comience la actividad de acarreo de material vegetal.

Es recomendable que las dosis a utilizar por hormiguero juvenil de *A. sexdens* sean, como mínimo, de 150 gramos y de la manera que se detalla en el prospecto del producto y, si el nido aún permanece activo, repetir la aplicación dentro de los 25 días. Además, se observó que cuando el producto presenta consistencia pastosa, se dificulta el fraccionamiento en campo y también ralentiza el acarreo debido a que las hormigas deben desprender el cebo en trozos más pequeños para poder acarrear.

A futuro, es necesario evaluar la efectividad de este cebo en hormigueros adultos y de mayor tamaño, también testear en qué medida mayores dosis por nido aumentarían su efectividad.

5. LITERATURA CITADA

CHERRET, J. M. 1989. Leaf-cutting Ants, Biogeographical and Ecological Studies, pp. 473-488. In: H. Lieth and M.J. Werger (Eds.) Ecosystem of the world 14h, Tropical Rain Forest Ecosystem. Elsevier, N. Y



- DE COLL, O. & RIBEIRO, J. 2003. Control de *Atta vollenweideri* Forel y *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Formicidae) por medio de distintos cebos granulados. INTA CR Misiones, EEA Montecarlo Publicación N°5. Montecarlo, Misiones, Argentina.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FERNANDEZ, R; SOSA, D; PAHR, N; VON WALLIS, A; BÁRBARO, S Y ALBARRACIN, S. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Provincia de Misiones. Tomo II. Pág. 187: 200. Roberto Casas y Gabriela Albarracin editores. PROSA – Centro para la promoción de la conservación del suelo y del agua.
- FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC). 2019. *Política de Pesticidas del FSC*. Bonn, Alemania.
- Hölldobler, B. & Wilson, E.O. (1990) *The Ants*, p. 732. Harvard University Press, Cambridge.
- NUÑEZ, M., PEZZUTTI, R., & CANTARELLI, E. B. (2020). Determinación del daño causado por hormigas cortadoras en la implantación de *Pinus taeda*. *XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos*, 53–57.
- PINHEIRO DA CRUZ, A., ZANUNCIO, C., ZANETTI, R. (1996). Sa Gomes, O. Eficiencia de iscas granuladas a base de sulfluramida e de clorpirifos no controle de *Atta sexdens sexdens* (Hymenoptera: formicidae), no trópico umido. *Acta amazonica* 26(3), 145–150.
- RAINFOREST-ALLIANCE. 2020. Anexo S7: *Gestión de plaguicidas SA-S-SD-8-V1.1 ES*. New York, EEUU. <https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2020/06/ANEXO-7-Gestion-de-plaguicidas.pdf>
- SIQUEIRA, F. F. S., RIBEIRO-NETO, J. D., TABARELLI, M., ANDERSEN, A. N., WIRTH, R., & LEAL, I. R. 2017. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 33(5), 337–344. <https://doi.org/10.1017/S0266467417000311>
- WEBER, N. A. 1982. FUNGUS ANTS. IN: H. R. HERMANN (ed.) *Social insects*. Vol 4. Academic Press, London. pp 255-363.
- WHITE, G. L. (1998). Control of the leaf-cutting ants *Acromyrmex octospinosus* (Reich.) and *Atta cephalotes* (L.) (Formicidae, Attini) with a bait of citrus meal and fipronil. *International Journal of Pest Management*, 44(2), 115–117. <https://doi.org/10.1080/096708798228419>



DETERMINACIÓN DE PATÓGENOS FÚNGICOS ASOCIADOS A SEMILLAS DE ESPECIES NATIVAS DE SANTIAGO DEL ESTERO

María V. PARRA¹, Mauricio EWENS², Dominga V. LEDESMA¹, Andrea S. GODOY¹, Antonella MANCILLA¹

RESUMEN

En Santiago del Estero, son pocas las investigaciones relacionadas a los patógenos asociados a semillas de especies nativas. Por ello, en el Laboratorio de Patología Forestal de la UNSE se llevaron a cabo ensayos con *Prosopis kuntzei* Harms. (itín) y *Ziziphus mistol* Griseb. (mistol) con el objetivo de identificar los patógenos presentes en sus semillas y determinar la efectividad de control sobre la flora fúngica mediante el uso de un compuesto con actividad antimicrobiana de fácil acceso para productores. Se aplicó la técnica del papel secante a 400 semillas testigos y a 400 semillas desinfectadas con peróxido de hidrógeno al 30% V/V. Luego de 5 días se identificó y determinó la incidencia de los hongos presentes. Las semillas de mistol presentaron una alta incidencia de *Aspergillus* spp (82 %) y *Rhizopus* spp (38 %), mientras que en las semillas de itín, además de *Aspergillus* spp. (16 %) y *Rhizopus* spp. (14%) también se encontró *Alternaria* spp. (0,5 %). En ambas especies la incidencia de la flora fúngica disminuyó por el tratamiento de las semillas con peróxido de hidrógeno, lo que nos lleva a concluir que la desinfección con este compuesto es una alternativa adecuada para disminuir la presencia de hongos en estas especies.

Palabras clave: sanidad, *Prosopis kuntzei*, *Ziziphus mistol*

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de plantas de especies nativas para fines de uso múltiple, por ejemplo, conservación, restauración, arbolado urbano, obtención de madera, leña, alimento, paisaje, entre otros, deja en evidencia la necesidad de fortalecer la disponibilidad de semillas de calidad (Eibl, 2020).

Una de las vías de entrada de los patógenos a un vivero o a un lote es a través de las semillas, los cuales posteriormente se diseminan en plántulas, suelo, agua y equipo contaminado. Por este motivo, la sanidad de las semillas debe ser el primer punto de enfoque en el desarrollo de programas de manejo integrado de las enfermedades, ya que es una de las medidas más efectivas y prácticas para minimizar la diseminación de una enfermedad (Almodóvar, 2005).

Al igual que en el caso de las plantas adultas, la mayoría de las enfermedades que afectan a las semillas son micosis, es decir, enfermedades causadas por hongos. A su vez, los hongos constituyen el principal grupo de organismos fitopatógenos que pueden transmitirse a través de las semillas (Sánchez y Traperó, 2003).

Según Mittal et al. (2002), varios tipos de hongos pueden asociarse con semillas de árboles. Así, hay especies que causan descomposición y reducen la germinación de semillas almacenadas, especies que atacan semillas que están germinando y a plántulas; y también hay otras especies que son más o menos inocuas, o por lo menos parecen serlo.

Desde hace años, el control de las enfermedades fúngicas ha dependido, en gran medida, de los tratamientos con agroquímicos. El uso de estos compuestos representa un riesgo para la salud e incrementa la contaminación ambiental. Para reducir este problema, es necesario buscar y adoptar

¹ Facultad de Ciencias Forestales-UNSE- parrav@unse.edu.ar

² Estación Experimental Fernández, Convenio Provincia Santiago del Estero - UCSE- mauricio.ewens@gmail.com



estrategias que sean accesibles, sencillas de aplicar y no tóxicas para seres humanos y animales (Villa et al., 2015; Mesa et al., 2019). Existen varias sustancias que no se consideran tóxicas y tienen la capacidad de controlar microorganismos. Varios ensayos han demostrado que, entre ellas, el peróxido de hidrógeno es efectivo en la reducción del inóculo presente en las semillas de coníferas y otras especies arbóreas.

En Santiago del Estero, son muy pocas las investigaciones relacionadas a los patógenos asociados a semillas de especies forestales nativas. El objetivo de este trabajo fue identificar a los patógenos presentes en semillas de *Prosopis kuntzei* Harms., (itín) y *Ziziphus mistol* Griseb., (mistol) y determinar la efectividad de control sobre la flora fúngica transportada mediante el uso de un compuesto con actividad antimicrobiana de fácil acceso para productores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Patología Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Las semillas de *Prosopis kuntzei* (itín) y de *Ziziphus mistol* (mistol) fueron provistas por la Estación Experimental de Fernández dependiente de la Universidad Católica de Santiago del Estero.

Determinación de hongos

Para la determinación de los hongos presentes en las semillas se aplicó la técnica del papel secante según la técnica descrita por SENASICA (2018) para lo cual se sembraron 400 semillas de cada una de las especies, en cajas de Petri con papel de filtro humedecido. Las muestras se incubaron por 5 días a una temperatura de 25°C. Transcurrido este tiempo se procedió a observar cada una de las semillas con microscopio estereoscópico en busca de estructuras de hongos. Se realizaron preparados de las estructuras encontradas, para su observación con un microscopio compuesto e identificación mediante el uso de claves taxonómicas.

Efectividad del peróxido de hidrógeno

Para estos ensayos se preparó una solución al 30% v/v con peróxido de hidrógeno siguiendo la técnica de Muñoz-López et al. (2009). Luego se desinfectaron 400 semillas de cada una de las especies con la solución durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo, las semillas se enjuagaron con agua estéril y se sembraron en cajas de Petri con papel de filtro humedecido. Las muestras se incubaron a 25 °C durante 5 días. Una vez terminado el periodo de incubación, se revisaron cada una de las semillas con un microscopio estereoscópico en busca de estructuras de hongos. Se realizaron preparados de las estructuras encontradas las que se observaron con un microscopio óptico compuesto e identificaron mediante el uso de claves taxonómicas. (SENASICA, 2018).

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño totalmente aleatorizado. Los tratamientos fueron: semillas sin desinfectar (Testigo) y semillas desinfectadas con peróxido de hidrógeno (P) con 4 repeticiones de 100 semillas cada una de ellas. Se elaboraron tablas de frecuencias de cada uno de los hongos identificados y del total de los mismos. Posteriormente se realizó el análisis de la varianza y la comparación de medias aplicando Tukey al 5% con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020)

Los resultados se expresaron como Incidencia

$$I = \text{NSDF} / \text{NST} * 100$$

Donde:

I= Incidencia (%)

NSDF= Número de semillas con desarrollo fúngico

NST= Número total de semillas evaluadas



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las semillas de mistol (TM), los hongos que estuvieron presentes fueron *Aspergillus* spp. y *Rhizopus* spp. con una incidencia del 82% y 38% respectivamente mientras que la incidencia total fue de un 100% como se muestra en el Gráfico 1. Cabe aclarar que la elevada incidencia de estos hongos puede también atribuirse a la técnica que se aplicó para extraer las semillas, la cual no eliminó por completo los restos del fruto. Los frutos del mistol son ricos en carbohidratos solubles (Nogués et al., 2013) por lo que, las semillas, en este caso se convirtieron en un medio ideal para el desarrollo de la flora fúngica.

En las semillas tratadas con peróxido de hidrógeno (PM) la incidencia de *Aspergillus* spp. fue del 58%, la de *Rhizopus* spp un 32% y la total igual al 90% (Gráfico 1), siendo estadísticamente significativa la disminución de la incidencia total y la de *Aspergillus*.

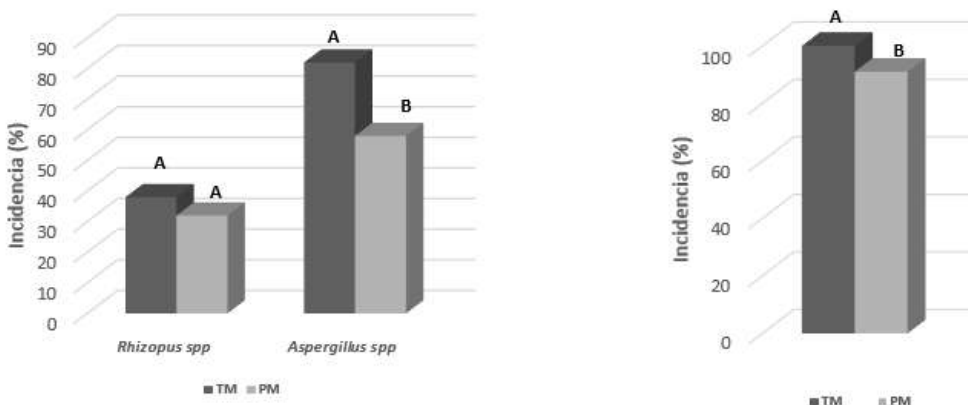


Gráfico 1. A la izquierda se muestra la incidencia de *Rhizopus* spp y *Aspergillus* spp. en semillas de mistol sin tratamiento (TM) y tratadas con peróxido de hidrógeno (PM). A la derecha se representa la incidencia total de hongos presentes en semillas de mistol en los tratamientos ensayados.

Los patógenos presentes en las semillas de itín (TI) fueron *Aspergillus* spp, *Rhizopus* spp. y *Alternaria* spp. con una incidencia del 16%,14% y 0,5% respectivamente, mientras que la incidencia total fue del 30,5% (Gráfico 2).

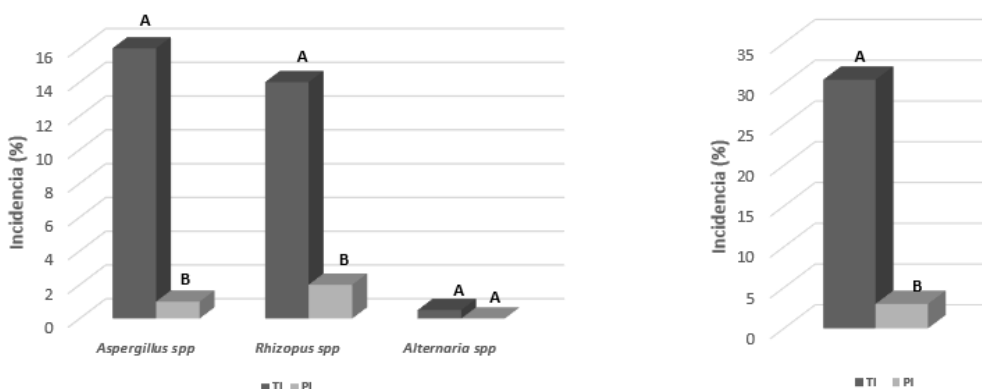


Gráfico 2. A la izquierda se representa la incidencia de *Aspergillus* spp, *Rhizopus* spp y *Alternaria* spp en semillas de itín sin tratamiento (TI) y tratadas con peróxido de hidrógeno (PI). A la derecha, se representa la incidencia total de los hongos presentes en los tratamientos ensayados.

Posteriormente a la desinfección con peróxido de hidrógeno, la incidencia de *Aspergillus* spp, *Rhizopus* spp. y *Alternaria* spp. que se registró fue del 1%, 2% y 0% respectivamente, siendo la incidencia total del 3%. Se registraron diferencias significativas entre tratamientos para los hongos presentes en mayor



proporción, obteniendo un efecto prácticamente erradicante. Además del control de los hongos presentes, al momento de las observaciones, las semillas de itín tratadas presentaron un 49% de germinación mientras que las testigos solo un 23%. Asimismo, se observó un incremento en la longitud radicular de las plántulas originadas de las semillas tratadas como puede observarse en la Imagen 1.

Los géneros *Aspergillus* y *Rhizopus* constituyen los principales agentes que afectan a las semillas en condiciones de almacenamiento (Lezcano et al. 2015), pudiendo alterar la germinación, la respiración y la permeabilidad selectiva de las semillas, además de producir micotoxinas que resultan tóxicas para humanos y animales (Pabón y Castaño 2012). Por otro lado, *Alternaria* es un género fúngico muy común, donde se incluyen numerosas especies saprofitas, endofíticas y patógenas ampliamente distribuidas en el suelo y la materia orgánica en descomposición. Éste último, incluye especies patógenas que pueden invadir los cultivos vegetales antes y después de la recolección y es responsable de considerables pérdidas económicas, debido a que reduce el rendimiento de las cosechas y provoca alteraciones en los vegetales durante su almacenamiento, también, entre los metabolitos secundarios que produce, algunos son tóxicos para las personas y los animales (Pavón Moreno et al. 2012)

El uso del peróxido de hidrógeno para la disminución de la flora microbiana en semillas forestales se ha ensayado en varias especies, obteniendo resultados positivos. Así, Cram y Fraedrich (2009) reportaron la reducción de inóculo presente en las semillas de coníferas, controlando varias especies de *Fusarium* y confirmaron que el tratamiento favoreció a la germinación. Resultados similares obtuvieron Muñoz López et al. (2009) quienes investigaron el efecto del peróxido de hidrógeno sobre *Fusarium circinatum* en semillas del género *Pinus*, alcanzando niveles de desinfección próximos al 100 % y el incremento en la germinación sumergiendo las semillas en una solución al 30 % durante 10 minutos.

Flores García et al., (2008) lograron una desinfección del 100% y una reducción en la mortalidad de plántulas de *Nolina parviflora* (palma), cuando sumergieron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno al 3 % v/v durante 24 horas. Estos autores afirman que además de la efectiva capacidad de desinfección en semillas forestales el peróxido de hidrógeno ha demostrado que incrementa la germinación en algunas semillas de pino, porque ablanda su testa y aumenta la permeabilidad del agua y oxígeno, facilitando a nivel celular la oxidación de grasas y su conversión a carbohidratos, lo que promueve la activación de enzimas y reacciones sintéticas esenciales para movilización de componentes celulares involucrados en el crecimiento de la raíz.



Imagen 1. Germinación de semillas de itín. La imagen de la izquierda corresponde a semillas testigos mientras que la de la derecha a semillas tratadas con peróxido de hidrógeno.

4. CONCLUSIONES

Los tres géneros fúngicos encontrados en las dos especies nativas son representativos de hongos provenientes del campo y del almacenamiento. El hongo que se presentó en mayor proporción fue *Aspergillus* spp. El tratamiento con peróxido de hidrógeno fue efectivo para disminuir la incidencia, sobre todo en itín, en el que además favoreció la germinación. Al ser estas las primeras experiencias de patógenos en semillas de itín y mistol a partir de esta información se continuará con estos ensayos para determinar si con mayores concentraciones y tiempos de inmersión se logra obtener un control



más efectivo en mistol; y evaluar la aplicación de peróxido de hidrógeno en itín no solo como método de desinfección sino también como una técnica de pregerminación.

5. LITERATURA CITADA

- ALMODÓVAR W. 2005. Manejo integrado de enfermedades en viveros de árboles de Puerto Rico. Servicio de Extensión Agrícola. Universidad de Puerto Rico. 16p.
- CRAM, M.M.; FRAEDRICH S. W. 2009. Seed diseases and seedborne pathogens of North America tree planters Notes, 33:35-44. <http://naldc.nal.usda.gov/download/41643/PDF>.
- DI RIENZO, J. A., F. CASANOVES, M. G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA & C. W. ROBLEDO. 2020. Infostat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- EIBL B. 2020. Fuentes y certificación del material de propagación de especies nativas. En Libro de Resúmenes del 1° Congreso Argentino de Semillas. Germinado nuevas ideas / Editado por Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados. - 1a edición. 500p.
- FLORES GARCÍA, A., J. G. ÁLVAREZ MOCTEZUMA, J. L. RODRÍGUEZ DE LA O., Y A. CORONA AMBRIS. 2008. Germinación in vitro de semillas de *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. Foresta Veracruzana, vol. 10, núm. 2, 2008, 27-33 pp.
- LEZCANO, J. C, O. ALONSO Y M. NAVARRO 2015. Población fungosa asociada al proceso germinativo de semillas almacenadas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. En revista Pastos y Forrajes, Vol. 38, No. 3, julio-septiembre, 164-170, 2015.
- MESA V. A. M.; P.A. MARIN; O. OCAMPO; J. CALLE Y Z. MONSALVE. 2019. Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. RIA. Trabajos en Prensa. 8p.
- MITTAL, R. K.; S. B. MATHUR; K. OLD; Y Z. Q. YUAN. 2002. Patología. Capítulo 6. En Manual de Semillas de Árboles Tropicales. Vozzo J. A. (Ed). United States Department of Agriculture Forest Service. 183-198 p.
- MUÑOZ LÓPEZ, C., E. CUERVO SÁNCHEZ, M. AMPUDIA DÍAZ, GASTÓN GONZÁLEZ, J. PEÑUELAS RUBIRA, S. IGLESIAS SAUCE, N. HERRERO SIERRA. 2009. Control químico de *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell en semillas del género *Pinus*. 5° Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2-12 pp.
- NOGUÉS E. M.; O. E. CASTRO; R. J. CORREA; M. PURICELLI; H. GÓMEZ PÉREZ; Y R. LÓPEZ. 2013. *Ziziphus mistol* Griseb. (mistol) su rol en la religión, la cultura popular, la alimentación humana y animal y su uso medicinal en el árido y semiárido del NOA. Información general sobre la importancia de este género en distintas regiones del mundo. Revista de Divulgación Técnica y Agroindustrial N° 52 SIVITEC. F.C.A.-U.N.Ca. 1-16 p.
- PABÓN-VILLALOBOS J. Y J. CASTAÑO-ZAPATA. 2012. Identificación de hongos y bacterias en granos de arveja (*Pisum sativum* LINNEO). En Rev. Agron. 20(1): 26 - 37, 2012.
- PAVÓN MORENO M. A., I. GONZÁLEZ ALONSO, R. MARTÍN DE SANTOS Y T. GARCÍA LACARRA. 2012. Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas, Revista Nutrición Hospitalaria 27(6):1772-1781,
- SÁNCHEZ HERNÁNDEZ M. E. Y TRAPERO CASAS A. 2003. Estado fitosanitario, etiología y control de enfermedades de semillas en material vegetal de reproducción, manejo, conservación y tratamiento. consejería de medioambiente. Junta de Andalucía (Eds). 149-176p.
- SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria 2018. Protocolo de Diagnóstico: Detección e Identificación de hongos fitopatógenos a partir de semillas. [Versión 1.0]. Tecámac, México. Disponible en: <http://sinavef.senasica.gob.mx/CNRF/AreaDiagnostico/DocumentosReferencia/Documentos/ProtocolosFichas/Protocolos/HongosFitopatogenos/6.%20ProtocoloDetecci%C3%B3nHongosFitopat%C3%B3genosSemillas%20V.1%20Pub.pdf>
- VILLA MARTÍNEZ A. R. PÉREZ-LEAL1, H. A. MORALES-MORALES, M. BASURTO-SOTELO, J. M. SOTO-PARRA Y E. MARTÍNEZ-ESCUADERO. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium spp.* y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. Acta Agronómica. 64 (2) 2015, 194-205 p. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012028122015000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es Consultado agosto 2020.



ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE RAMA *Piper gaudichaudianum* Kunth FRENTE AL HONGO *Lentinus lepideus* (Fr.) Fr.

Guilherme E. ANDRADE¹; Marina do A. JACOBINI¹; Nadia H. BIANCHINI²; Bibiana F. BATISTA²; Marlove F.V. MUNIZ^{3,2}; Berta M. HEINZMANN^{4,2}

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la actividad antifúngica *in vitro* y determinar la concentración media inhibitoria (IC₅₀) del extracto etanólico de ramas de *Piper gaudichaudianum* Kunth frente al hongo *Lentinus lepideus* (Fr.) Fr. El material vegetal fue recolectado en la ciudad de São João do Polêsine - RS – Brasil. El extracto de las ramas pulverizadas de *P. gaudichaudianum* se obtuvo mediante extracción Soxhlet, inicialmente utilizando hexano para extraer la mayoría de los compuestos apolares. Posteriormente, el mismo material vegetal se trató con etanol para extraer las otras clases de sustancias. La actividad antifúngica del extracto etanólico se evaluó mediante el método de dilución en medio PDA (Potato-Dextrose-Agar) donde el extracto se diluyó en 5 mL de una solución acuosa que contenía etanol (12 %), acetona (0,020 %) y Tween 20 (0,020 %), siendo evaluado en las concentraciones 1,25, 2,50 e 5,00 mg mL⁻¹. El extracto mostró buena actividad antifúngica, en las concentraciones de 2,5 e 5,0 mg mL⁻¹ se obtuvo una inhibición de 74,12 % y 80,77 % del crecimiento del micelio del hongo, respectivamente, logrando así el IC₅₀ de 2,06 mg mL⁻¹. De esa forma el extracto etanólico de ramas de *P. gaudichaudianum* presenta buena actividad antifúngica contra el hongo *L. lepideus*.

Palabras clave: *Piperaceae*, *producto natural*, *putridión parda*, *preservación de la madera*

1. INTRODUCCIÓN

La madera es un producto muy utilizado para diversos fines, pero es susceptible al ataque de hongos que suelen causar la descomposición de este producto. Entre los hongos responsables de la descomposición de la madera, se destaca la clase Basidiomycetes, en la que se encuentran los hongos responsables de la pudrición parda, entre ellos el hongo *Lentinus lepideus* (Fr.) Fr. (OLIVEIRA et al., 2005).

La escasez de madera de calidad superior es debido a las restricciones impuestas por la legislación y la disponibilidad limitada del material en el medio natural, acompañada de la demanda del producto, justifica el uso de madera menos duradera y de rápido crecimiento procedente de la reforestación. Sin embargo, debido a la composición de esta madera en específico, estas especies sufren mucho más el ataque de hongos, por lo que es necesario un tratamiento para aumentar su durabilidad (DA SILVEIRA, 2019).

Desafortunadamente, la mayoría de los productos utilizados en el tratamiento de la madera tienen un alto potencial tóxico (SHIAU et al., 2000), lo que genera preocupación por los riesgos que el uso de estos productos traen a la salud humana, además del impacto en el ambiente. (ALAN et al., 2019; OHGAMI et

¹ Laboratorio de Extractivos Vegetales, Curso de Pré-Grado en Ingeniería Forestal, Universidade Federal de Santa Maria. Contacto: guilhermeeand1@gmail.com / +55 55 98424-3959 (G.E.A.); marinajacobini@hotmail.com / +55 51 98244-6652 (M.d.A.J.).

² Laboratorio de Extractivos Vegetales, Programa de Pós-Grado en Ingeniería Forestal, Universidade Federal de Santa Maria. Contato: nhbianchini@gmail.com / +55 51 98470-4215 (N.H.B.); bibiana.fb@hotmail.com / +55 5599627-6861 (B.F.B.).

³ Departamento de Defesa Fitosanitaria, Universidade Federal de Santa Maria. Contato: marlovemuniz@yahoo.com.br / +55 51 99967-4919 (M.F.V.M.).

⁴ Departamento de Farmacia Industrial, Universidade Federal de Santa Maria. Contato: berta.heinzmann@gmail.com / +55 55 99927-0404 (B.M.H.).



al., 2015). Como medida preventiva, desde el año 2003 la United States Environmental Protection Agency (EPA) restringió el uso de algunos conservantes de madera para usos no residenciales, lo que alentó a otros países a tomar medidas similares. (VIDAL et al., 2015).

Por lo tanto, existe un gran interés en el desarrollo de conservantes de madera más seguros que no dañen el medio ambiente. En este contexto, los extractos de plantas se han destacado por tener una gran cantidad de principios activos, además de tener efectos aditivos y sinérgicos, generalmente son fácilmente degradables, menos tóxicos para los usuarios y el ambiente (HARVEY, 2008). Teniendo en cuenta este potencial, se han desarrollado varios estudios para evaluar la eficacia de los extractos de plantas contra los hongos causantes de la pudrición de la madera (XU et al., 2013; TASCIOGLU et al., 2013; DA SILVA et al., 2017; XIE et al., 2017).

La familia Piperaceae es conocida tradicionalmente por poseer especies aromáticas, siendo el género *Piper* el más representativo de la familia (POTZERNHEIM et al., 2006). Las especies del género presentan un gran potencial activo contra varios microorganismos (AMIN et al., 2019; SOIDROU et al., 2013), incluido la especie *Piper gaudichaudianum* Kunth, que tuvo actividad fungicida, insecticida y larvívica ya evaluadas en los extractivos de sus hojas (CHAABAN et al., 2018; DE MORAIS et al., 2007; SCHINDLER, 2015). Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad antifúngica y determinar la concentración media inhibitoria (IC50) del extracto etanólico de ramas de *P. gaudichaudianum* contra el hongo *L. lepideus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal se recolectó en el distrito de Vale Vêneto, ciudad de São João do Polêsine - do Rio Grande do Sul – Brasil. Las ramas de *P. gaudichaudianum* fueron separadas de otros órganos de la planta, secadas a temperatura ambiente y molidas en un molino de cuchillas Willey. Posteriormente, el material pulverizado se acomodó en cartuchos hechos de papel de filtro y se sometió a extracción en un aparato Soxhlet. Inicialmente, para extraer la mayoría de los compuestos no polares, se utilizó hexano como disolvente de extracción. Luego, una vez que el material vegetal fue secado por completo en una capilla extractora, se extrajo con etanol, para obtener las demás sustancias. En ambos casos, los cartuchos que contenían el material vegetal se extrajeron hasta que se agotaron, durante aproximadamente 10 horas. A continuación, las soluciones extractivas se filtraron sobre papel de filtro y se concentraron en un rotavapor.

Las cepas fúngicas de *L. lepideus* fueron provistas por el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidade Federal de Brasília. Para evaluar la actividad antifúngica se utilizó la metodología de dilución en medio PDA (Potato-Dextrose-Agar), en el cual los extractos fueron previamente diluidos en 5 mL de una solución acuosa (diluyentes) conteniendo etanol (12,0 %), acetona (0,020 %) y tween 20 (0,020 %) y, posteriormente, se homogeneizó en el medio de cultivo, el cual se vertió en placas de Petri esterilizadas. Después de la solidificación del medio, los discos miceliales se transfirieron al centro de cada placa de Petri, que luego se incubaron en una cámara de DBO a una temperatura de 25 °C (± 1) y fotoperiodo de 12h/12h (claro/oscuro), hasta que el tratamiento testigo complete el crecimiento total del micelio en las placas. El extracto etanólico fue evaluado en las concentraciones de 1,25, 2,50 y 5,00 mg mL⁻¹. También fue evaluado un control positivo con la concentración de 1,4 mg mL⁻¹ (Propiconazole) y un control negativo de los diluyentes (5 mL⁻¹). Fueran realizadas 6 repeticiones de cada tratamiento. El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial fue determinado por medio de la ecuación:

$$\% \text{ inhibición} = [(CT - Ct) * 100] / CT$$

Donde CT y Ct corresponden al crecimiento micelial del testigo y al tratamiento, respectivamente.

Los datos se sometieron a pruebas de homogeneidad de varianza y normalidad. Dado que los datos no se ajustaron a los supuestos, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y la prueba de Mann-Whitney. Todos los datos se expresan como media \pm error estándar de la media. El valor de concentración media inhibitoria (IC50) se calculó mediante el método Probit. Los análisis se realizaron utilizando el software GraphPad Prism 6.0. Las diferencias se consideraron significativas al nivel de P<0,05.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La actividad antifúngica del extracto etanólico de los tallos de *P. gaudichaudianum* frente al hongo *L. lepideus* es presentada en el Gráfico 1. Los tratamientos en las concentraciones de 2,5 mg mL⁻¹ y 5,0 mg mL⁻¹ no presentaron diferencia significativa del control positivo. También se puede observar que el extracto etanólico de *P. gaudichaudianum* en la concentración de 1,25 mg mL⁻¹ no presentó inhibición significativa del crecimiento micelial, en comparación con el control negativo. De esta forma, se puede observar que el extracto etanólico de *P. gaudichaudianum* presenta potencial fungitóxico a partir de las concentraciones de 2,5 mg mL⁻¹. Las diferentes concentraciones de los tratamientos con el extracto etanólico no presentaron diferencia significativa entre sí.

El extracto de la parte aérea de *P. gaudichaudianum* ya había presentado una buena actividad frente al hongo *Candida tropicalis* (PUHL et al., 2011), pero en el mismo estudio, el extracto había sido ineficaz contra otros hongos testeados. Schindler (2015) dio conocimiento de que los hongos que causan la descomposición eran más sensibles a los aceites esenciales de las hojas y los órganos reproductivos de *P. gaudichaudianum*, en relación con los demás hongos analizados en el estudio. Esto evidencia que el extracto de esta planta presenta un potencial fungicida, principalmente frente a los hongos descomponedores de madera.

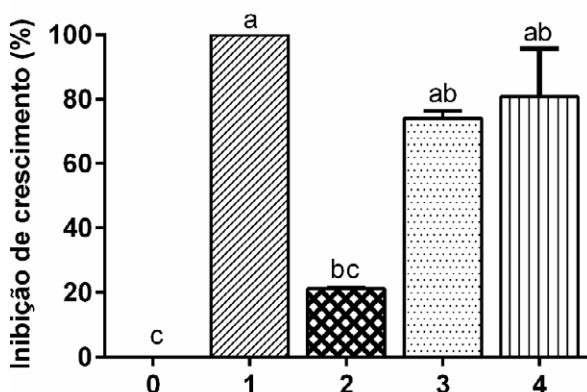


Gráfico 1. Inhibición del crecimiento micelial *in vitro* (%) del *Lentinus lepideus* sobre el efecto del extracto etanólico de ramas de *Piper gaudichaudianum*. Donde: 0 = control negativo; 1 = control positivo; 2 = 1,25 mg mL⁻¹; 3 = 2,5 mg mL⁻¹; 4 = 5,0 mg mL⁻¹

La IC₅₀ para el extracto etanólico de las ramas de *P. gaudichaudianum* fue de 2,06 mg mL⁻¹ (Cuadro 1), con un error estándar de la media de 0,494. Puhl et al. (2011) encontraron concentraciones inhibitorias mínimas del extracto de hojas de *P. gaudichaudianum* de 1000 µg mL⁻¹ contra el hongo *Trichophyton rubrum*. Ese resultado se asemeja al resultado encontrado en este trabajo, donde bajas concentraciones del extractivo presentaron actividad antifúngica.

Cuadro 1. Inhibición del crecimiento micelial *in vitro* (%) y concentración media inhibitoria (IC₅₀) del extracto etanólico de ramas de *Piper gaudichaudianum* frente al hongo *Lentinus lepideus*

Extracto	Conc. (mg mL ⁻¹)	Inhibición media ± EPM (%)	IC ₅₀ ± EPM (mg mL ⁻¹)
EER	1,25	21,23 ± 0,114	2,06 ± 0,494
	2,5	74,12 ± 0,877	
	5,0	80,77 ± 6,091	

Donde: Conc. = Concentraciones; EER = extracto etanólico de ramas; EPM = error estandar de la media; la IC₅₀ fue calculada por el método Probit.

El extracto en la concentración de 1,25 mg mL⁻¹, presentó una inhibición de 21,23 % (Cuadro 1). Con el aumento de la concentración, el extracto presentó un aumento en la inhibición media, llegando a un 74,12 % de inhibición del micelio en la concentración de 2,5 mg mL⁻¹ y 80,77 % en la concentración de 5,0 mg mL⁻¹. Estos resultados sugieren que el extracto etanólico de ramas de *P. gaudichaudianum* presenta una



inhibición del crecimiento del hongo *L. lepidus* a partir de una concentración de 2,5 mg mL⁻¹, obteniendo un rápido aumento en la inhibición del crecimiento micelial debido al aumento de la concentración.

4. CONCLUSIONES

El extracto etanólico de ramas de *P. gaudichaudianum* presentó inhibición del crecimiento micelial in vitro del hongo generador de la pudrición parda de la madera *L. lepidus*. La inhibición del hongo dependió de la concentración del extracto.

5. LITERATURA CITADA

- ALAN, M.Z., HOQUE, M., AHAMMED, G.J., MCGEE, R., CARPENTER-BOGGS, L. 2019. Arsenic accumulation in lentil (*Lens culinaris*) genotypes and risk associated with the consumption of grains. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1–9.
- AMIN, J.E.P., CUCA, L.E., GONZÁLEZ-COLOMA, A. 2019. Antifungal and phytotoxic activity of benzoic acid derivatives from inflorescences of *Piper cumanense*, *Natural Product Research*, v. 35, n. 16, p. 2736-2771.
- CHAABAN, A., SANTOS, V.M.C.S., GOMES, E.N., MARTINS, C.E.N., DO AMARAL, W., DESCHAMPS, C., MOLENTO, M.B. 2018. Chemical composition of *Piper gaudichaudianum* essential oil and its bioactivity against *Lucilia cuprina* (Diptera: Calliphoridae), *Journal of Essential Oil Research*, v. 30, n. 3, p. 159-166.
- DA SILVA, D.T., HERRERA, R., BATISTA, B.F., HEINZMANN, B.M., LABIDI, J. 2017. Physicochemical characterization of leaf extracts from *Ocotea lancifolia* and its effect against wood-rot fungi, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 117, p. 158-170.
- DA SILVEIRA A.G. Extratos naturais como alternativa para a preservação de madeiras. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.
- DE MORAIS, S.M., FACUNDO, V.A., BERTINI, L.M., CAVALCANTI, E.S.B., JÚNIOR, J.F.A., FERREIRA, S.A., DE BRITO, E.D., NETO, M.A.S. 2007. Chemical composition and larvicidal activity of essential oils from *Piper* species, *Biochemical Systematics and Ecology*, v. 35, p. 670-675.
- HARVEY, A.L. 2008. Natural products in drug discovery *Drug Discover Today*, v. 13, p. 894-901.
- OLIVEIRA, J.T.S., SOUZA, L.C., DELLA LUCIA, R.M., SOUZA JÚNIOR, W.P. 2005. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. *Revista Árvore*, v. 29 n.5 Viçosa SP. p. 819-826.
- OHGAMI, N., YAMANOSHITA, O., THANG, N. D., YAJIMA, I., NAKANO, C., WENTING, W., OHNUMA, S., MASASHI KATO, M. 2015. Carcinogenic risk of chromium, copper and arsenic in CCA-treated wood, *Environmental Pollution*, v. 206, p. 456-460.
- POTZERNHEIM, M.C.L., BIZZO, H.R.V., FONTES R. 2006. Análise dos óleos essenciais de três espécies de *Piper* coletadas na região do Distrito Federal (Cerrado) e comparação com óleos de plantas procedentes da região de Paraty, RJ (Mata Atlântica). *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2006, v. 16, n. 2, p. 246-25.
- PUHL M.C.M.N., CORTEZ D.A.G., UEDA-NAKAMURA T., NAKAMURA C.V., FILHO B.P.D. 2011. Antimicrobial activity of *Piper gaudichaudianum* Kuntze and its synergism with different antibiotics. *Molecules*. v. 16, n. 12 p. 9925-9938.
- SCHINDLER, B. 2015. Óleo essencial de *Piper gaudichaudianum* Kunth: Rendimento, composição química e atividade fungitóxica in vitro. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS*.
- SHIAU, R., SMITH, R., AVELLAR, B. 2000. Effects of steam explosion processing and organic acids on CCA removal from treated wood waste. *Wood Science and Technology* v. 34, p. 377–388.
- SOIDROU, S.H., FARAH, A., SATRANI, B., GHANMI, M., JENNAN, S., HASSANE, S.O.S., LACHKAR, M., ABED, S. EL., KORAICHI, S.I., BOUSTA, D. 2013. Fungicidal activity of four essential oils from *Piper capense*, *Piper borbonense* and *Vetiveria zizanioides* growing in Comoros against fungi decay wood, *Journal of Essential Oil Research*, v. 25, n. 3, p. 216-223.
- TASCIOLU, C., YALCIN, M., SEN, S., AKCAY, C. 2013. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 85, p. 23-28.



- VIDAL, J. M., EVANGELISTA, W. V., SILVA, J.C., JANKOWSKY, I.P. 2015. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. *Ciência Florestal* v. 25, n. 1, p. 257-271.
- XIE, Y., WANG, Z., HUANG, Q., ZHANG, D. 2017 Antifungal activity of several essential oils and major components against wood-rot fungi, *Industrial Crops and Products*, v. 108, p. 278-285.
- XU, G., WANG, L., LIU, J., HU, S., 2013. Decay resistance and thermal stability of bamboo preservatives prepared using camphor leaf extract, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 78, p.103-107.



RELACIÓN DE ÁREAS DE DURAMEN Y ALBURA DE 5 CLONES DE *Eucalyptus*

Christian BULMAN HARTKOPF^{1,2*}, Rosa A. WINCK¹, Hugo E. FASSOLA¹, Diego R. AQUINO¹, Pablo M. STEFANI³

RESUMEN

Se evaluó la proporción de tejidos leñosos en la sección transversal de 5 clones de *Eucalyptus* de INTA, obtenidos de un ensayo de 11 años instalado en la localidad de Leandro N. Alem, provincia de Misiones. Los materiales genéticos ensayados fueron dos clones *E. grandis*, EG INTA 157 y EG INTA 36; dos clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 24 y GC INTA 27 y un clon *E. grandis* x *E. tereticornis* GT INTA 31. Las variables analizadas fueron el área de duramen y albura y la proporción de duramen respecto del diámetro a tres alturas de fuste (H), 0,10; 2,65 y 5,50 m. Se concluyó que los clones puros poseen 10 % más duramen que los híbridos y que la H fue mejor predictor del área de duramen que el DAP, excepto para el EG INTA 157.

Palabras clave: proporción de tejido leñoso, variación longitudinal, material genético

1. INTRODUCCION

Cuando nos referimos a las especies de latifoliadas, el duramen es el tipo de tejido que cobra mayor relevancia desde el punto de vista de la construcción, mueblería y combustible, mientras que, cuando se apunta a la industria celulósica o de postes impregnados la atención es puesta en la albura (Caniza, 2010; Brito et al., 2019).

El duramen es el tejido leñoso constituido por células biológicamente inactivas que cumple funciones de sostén (Giménez et al., 2000), generalmente más oscuro por el contenido de extractivos (Miranda et al., 2006), lo que reduce su permeabilidad frente a la humedad, por lo que suele tener mayor durabilidad natural (Wiedenhoeft, 2012). La albura, al contrario, es tejido compuesto en un 80 % de células vivas encargado de la conducción de fluidos (Bierman, 1996).

Winck et al. (2016) registraron valores de 55 %, 65 %, 68 % y 75 % de duramen respecto al volumen en *E. grandis* de 10, 12, 15 y 32 años, respectivamente. Moglia et al. (2011) registró el 75,5 % de duramen en *E. camaldulensis* de 10 años. Los tratamientos silvícolas y el espaciamiento inicial contribuyen a la variación de la proporción de tejidos (Gominho y Pereira, 2005; Kumar y Dhillon, 2014), así como también influye la especie (Saito et al., 2008).

Debido a la importancia que representa la proporción de los tejidos leñosos para diferentes aplicaciones industriales y la escasa información que existe sobre estos materiales genéticos, este trabajo se planteó como objetivo determinar la proporción de duramen y albura de cinco clones de *Eucalyptus* desde la base hasta los 5,50 m de altura de fuste.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los árboles utilizados se obtuvieron de un ensayo clonal de *Eucalyptus* (Cuadro 1), instalado por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de INTA Concordia, Entre Ríos, en la localidad de Leandro N. Alem, provincia de Misiones, Argentina, situado en las coordenadas 55°18'4.27"O, 27°37'22.88"S, a una altitud de 335 m s. n. m. De acuerdo a datos de la estación meteorológica más cercana (EEA INTA Cerro Azul) 14 km al sur, la precipitación media anual es de 1 955 mm, la temperatura media anual de

¹ INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. * Contacto: bulman.christian@inta.gob.ar

² INTA, CONICET, EEA Montecarlo, Misiones, Argentina.

³ UNMdP, CONICET, INTEMA, Mar del Plata; Buenos Aires, Argentina.



21 °C. El mes más cálido es enero y el más frío julio, con una frecuencia media anual de 10 a 12 heladas meteorológicas (Olinuck, 2003).

De acuerdo a la clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Cerro Azul, se corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca, designado como Cfa. El suelo es rojo profundo, tipo Ultisol, en posición de media loma.

El ensayo fue establecido en el año 2009, con un espaciamiento de 4 m x 2,5 m y un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 5 repeticiones y parcelas de 4 plantas, con bordura simple.

Cuadro 1. Descripción de los materiales genéticos evaluados

Clon	Tipo de Clon	Material Genético	n	DAP Promedio	DE	HT Promedio	DE
EG INTA 157	Puro	<i>E. grandis</i>	12	28,7	(6,6)	34,3	(4,5)
EG INTA 36	Puro	<i>E. grandis</i>	13	33,7	(5,8)	37,8	(3,5)
GC INTA 24	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	12	27,4	(3,8)	30,7	(4,8)
GC INTA 27	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	13	32,0	(5,6)	32,9	(3,9)
GT INTA 31	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i>	8	28,5	(5,0)	30,0	(4,9)

n: cantidad de árboles medidos; DAP: diámetro a la altura de pecho (cm); HT: altura total (m); DS: desvío estándar.

La muestra consistió de 15 árboles, 3 individuos de cada clon, de los cuales se extrajo rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor de las alturas 0,10; 2,65 y 5,50 m. Sobre cada una de estas se registraron 2 mediciones de diámetro sin corteza, y el diámetro del duramen de manera ortogonal. Luego se calculó el promedio para cada variable y se estimó el área total de la rodaja y el área del duramen. El área de la albura se obtuvo por diferencia entre el área total sin corteza y el área del duramen.

Los datos fueron analizados con modelos lineales generales y mixtos y un nivel de confianza del 95 %, con el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.* 2020). La comparación de medias se hizo por medio del test de DGC, utilizando en todos los casos al árbol como variable de efecto aleatorio, y como variable de efecto fijo se utilizó clones y altura de fuste.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han encontrado diferencias significativas en cuanto al tipo de material genético para determinar la proporción de duramen (Cuadro 2), los clones puros arrojaron mayor porcentaje de este tejido que los híbridos.

Cuadro 2. Proporción de duramen por clon

Clon	Área duramen %	
	Media	DE
EG INTA 157	72,85 ^a	(1,94)
EG INTA 36	70,08 ^a	(2,29)
GC INTA 24	61,32 ^b	(5,13)
GC INTA 27	62,34 ^b	(4,37)
GT INTA 31	59,68 ^b	(1,91)

DE: desvío estándar; letras diferentes indican diferencia significativa.

La proporción promedio de área de duramen alcanzado con los distintos tipos de materiales genéticos fueron 71,46 %, 61,83 % y 59,68 % para el EG, GC y GT, respectivamente (Cuadro 2), obteniéndose así resultados superiores a los hallados por Winck *et al.*, (2016) en *E. grandis* de 12 y 15 años, e inferiores a los de Moglia *et al.* (2011) en *E. camaldulensis* de 10 años.



A partir del análisis de modelos mixtos, para cada clon, de manera independiente, se compararon las tres alturas de fuste, para observar la variación de área de los tipos de tejido en la sección transversal y la proporción de duramen (Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie de áreas y proporción de albura/duramen a distintas alturas de fuste.

Clon	H	Área Albura			Área Duramen			Duramen %		
		Media	DE	DGC	Media	DE	DGC	Media	DE	DGC
EG INTA 157	0,10	201,3	(48,5)	a	533,1	(107,6)	a	72,7	(0,94)	a
	2,65	164,6	(24,6)	b	455,9	(90,6)	b	73,3	(2,92)	a
	5,50	161,8	(19,8)	b	434,5	(98,7)	b	72,6	(2,27)	a
EG INTA 36	0,10	393,5	(81,3)	a	934,7	(246,4)	a	68,3	(1,85)	a
	2,65	240,3	(58,4)	b	715,0	(57,0)	b	71,3	(3,01)	a
	5,50	266,5	(31,5)	b	640,2	(81,6)	b	70,6	(1,03)	a
GC INTA 24	0,10	427,6	(125,5)	a	737,1	(119,8)	a	65,7	(3,71)	a
	2,65	289,9	(47,6)	b	413,7	(124,49)	b	62,9	(2,48)	a
	5,50	266,5	(79,3)	b	331,6	(100,3)	c	55,4	(1,18)	b
GC INTA 27	0,10	589,5	(83,7)	a	1090,7	(138,3)	a	64,8	(5,18)	a
	2,65	397,4	(77,1)	b	703,2	(94,0)	b	64,0	(2,86)	a
	5,50	405,6	(44,3)	b	563,3	(44,4)	b	58,2	(1,40)	b
GT INTA 31	0,10	509,0	(72,4)	a	776,6	(98,7)	a	60,4	(1,74)	a
	2,65	299,4	(55,4)	b	458,7	(100,3)	b	60,4	(2,53)	a
	5,50	292,6	(42,8)	b	406,8	(48,4)	b	58,2	(0,63)	a

Área Albura: (cm²); Área Duramen: (cm²); Duramen %: proporción de duramen respecto del área total de la troza; H: altura de fuste (m); DE: desvío estándar; DGC: comparación de medias, letras diferentes indican diferencia significativa al 95 % de confianza.

La gran variabilidad de áreas a la altura de 0,10 m estaría asociado a la irregularidad de la sección basal, ya que no es completamente circular. En cuanto a la proporción de área de duramen respecto del diámetro de la sección, en el Cuadro 3 se puede observar que no existe diferencia significativa entre alturas, excepto para los clones GC INTA 24 y 27, presentando menor proporción % de duramen a 5,50 m respecto a las alturas 0,10 m y 2,65 m.

Se comprobó la significancia estadística de las variables DAP y H para predecir las áreas de tejido por el test de correlación de Pearson. En todos los casos la H resultó ser un indicador significativo, excepto para predecir el área de duramen de EG INTA 157 y de la albura de EG INTA 157 y GC INTA 24, en el que el DAP resultó ser significativo, pero no la H. Una tendencia similar fue hallada por Brito *et al.* (2019), indicaron que el DAP fue significativo para explicar la proporción de duramen en clones de *E. grandis* pero no para híbridos de *E. grandis x urophylla*.

4. CONCLUSIONES

Los clones puros mostraron tener 10 % más de proporción de duramen que los híbridos, esto es interesante desde el punto de vista de la producción de volumen de este tipo de tejido para la construcción o como combustible.

La posición de la muestra a lo largo del fuste resultó ser mejor predictor que el DAP de la proporción de duramen, excepto para el clon EG INTA 157, en el que sí el DAP fue un buen estimador.

Este tipo de variables debería ser evaluado hasta el diámetro mínimo aserrable, además de la realización de otros estudios incorporando otras variables (como, por ejemplo, conicidad, índice de rajado) que tienen influencia en el rendimiento durante el procesamiento industrial sobre todo en las especies de este género.



5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los proyectos: "Procesos y tecnologías sostenibles para el agregado de valor en las cadenas y regiones los proyectos (2019-PE-E7- I 148-001)" y "ANPCyT por (PICT 2016 0445)" por el financiamiento; al propietario del terreno Sr. Ricardo Chesani; a los Ing. Javier Oberschelp y Leonel Harrand de EEA-INTA Concordia quienes instalaron el ensayo; a los técnicos de EEA-INTA Montecarlo, Diego Bogado y Tomás J. Haberle por el apoyo en las actividades de campo y a la MSc. Fidelina Silva por el aporte bibliográfico de los datos climáticos.

6. LITERATURA CITADA

- BIERMAN, C.J. 1996. Hand Book of Pulping and Paper Making. Second Edition. Academic Press. California. USA.
- BRITO, A. S., VIDAURRE, G. B., OLIVEIRA, J. T. D. S., MISSIA DA SILVA, J. G., RODRIGUES, B. P., & CARNEIRO, A. D. C. O. 2019. Effect of planting spacing in production and permeability of heartwood and sapwood of *Eucalyptus* wood. *Floresta e Ambiente*, 26.
- CANIZA, F.J. 2010. Efecto de los estados de competencia post-raleo en los caracteres de importancia de la madera del *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden para uso sólido. Master. Tesis, Universidad Nacional de Misiones. FCF. Eldorado, Argentina.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- GIMÉNEZ, A. M., RÍOS, N., & MOGLIA, G. 2000. Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca. *Quebracho*, (8), 56-63.
- GOMINHO J., PEREIRA H. 2005. The influence of tree spacing in heartwood content in *Eucalyptus globulus* Labill. *Wood and Fiber Scie.* 37(4): 582-590.
- KUMAR A., DHILLON G.P.S. 2014. Variation of sapwood and heartwood content in half-sib progenies of *Eucalyptus tereticornis* Sm. *Indian Journal of Natural Products and Resources.* 5(4): 338-344.
- MIRANDA, I., GOMINHO, J., LOURENÇO, A., & PEREIRA, H. 2006. The influence of irrigation and fertilization on heartwood and sapwood contents in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees. *Can. J. For. Res.*, 36(10), 2675-2683.
- MOGLIA, J. G., VENTURINI, M., & GEREZ, R. 2011. Relación entre el radio de duramen y algunas magnitudes alométricas en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* en Santiago del Estero Argentina. *Boletín Informativo CIDEU*, (10), 107-117.
- OLINUCK, J. A. 2003. Informe agrometeorológico de la localidad de Cerro Azul. Año 2002. Período 1967-2002. INTA EEA CA. Miscelánea Nº 50, 20p.
- SAITO K, MITSUTANI T, IMAI T, MATSUSHITA Y, YAMAMOTO A, FUKUSHIMA K. 2008. Chemical differences between sapwood and heartwood of *Chamaecyparis obtusa* detected by ToF-SIMS. *Applied Surface Science*; 255(4): 1088- 1091.
- WIEDENHOEFT, A.C. 2012. Structure and function of wood. In: Rowell RM (Ed), *Handbook of wood chemistry and wood composites*, 2nd ed., CRC Press, Florida, USA, p. 09-32.
- WINCK, R. A., BARTH, S. R., FASSOLA, H. E., CRECHI, E. H., & KELLER, A. E. 2016. Relación entre la densidad básica y proporción del duramen de la madera de *Eucalyptus grandis* de Misiones y Corrientes, Argentina. XVII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. *Producción Forestal Secundaria*, 390-392. <https://www.jotefa.com/actas#portada>



VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD A TRES ALTURAS DE FUSTE DE 5 CLONES DE *Eucalyptus*

Christian BULMAN HARTKOPF^{1,2*}, Rosa A. WINCK¹, Hugo E. FASSOLA¹, Diego R. AQUINO¹, Pablo M. STEFANI³

RESUMEN

Se evaluó la densidad aparente de 5 materiales genéticos de INTA, a partir de un ensayo de 11 años instalado en la localidad de Leandro N. Alem, provincia de Misiones. Se trata de dos clones puros de *Eucalyptus grandis* y tres híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis* de interés para la industria, los cuales fueron EG INTA 157, EG INTA 36, GC INTA 24, GC INTA 27 y GT INTA 31, respectivamente. Las variables analizadas fueron la densidad básica (Db), estacionada (De), anhidra (Do) y saturada (Ds) de todas las muestras obtenidas en el sentido radial y a las alturas de fuste de 0,10; 2,65 y 5,50 m. Los valores de densidad de los materiales híbridos fueron mayores y más homogéneos. Todos los clones presentaron aumento de la densidad en sentido radial, desde la médula hacia la corteza, a diferencia del EG INTA 157, que disminuye levemente, no se encontraron diferencias significativas entre alturas. El *E. grandis* EG INTA 157 podría ser recomendable en aquellas aplicaciones donde se prefieran valores más bajos densidad por la relación peso/resistencia.

Palabras clave: *variación transversal, variación axial, material genético, propiedades físicas*

1. INTRODUCCION

Uno de los objetivos de investigar nuevos materiales genéticos y su silvicultura es la de obtener la materia prima de calidad óptima para la industria (Harrand et al., 2017), ya que se puede clasificar la madera por sus propiedades físicas y dirigir el corte en función de las características deseadas (Calvo et al., 2006). De estas, la densidad aparente podría ser la más importante ya que se la utiliza para clasificar la madera en diversos usos, donde la homogeneidad influye en la calidad del producto final (Cherelli et al., 2018). Por otro lado, está muy relacionada con las propiedades mecánicas (Chave et al., 2009; León, 2010; Pillai et al., 2013; Winck, 2013; Bastin et al., 2015; Bulman et al., 2021), como lo es la resistencia a la flexión estática, compresión y tracción (Awan et al., 2012).

Diferentes autores encontraron variación en sentido radial y longitudinal de la densidad. De Oliveira et al. (2012) en *E. grandis* de 23 años halló un incremento en los valores de esta propiedad en ambos sentidos. Arango y Tamayo (2008) en clones de *E. grandis* y *E. grandis* x *E. urophylla* de 8 años observaron diferentes patrones de variación transversal (constante, creciente, decreciente), encontrando que existen diferencias significativas entre clones de genética pura e híbrida. Por otro lado, Winck et al. (2014) para *E. grandis* de diferentes edades determinaron para la densidad básica un patrón creciente en sentido radial y con respecto a la variación axial estuvo relacionada con la edad del individuo.

Debido a la influencia de la densidad sobre la calidad del producto final y la escasez de información de estos materiales genéticos “nuevos”, este trabajo tiene como objetivo determinar la variación radial de la densidad básica a 3 alturas de fuste de árboles de 5 clones de *Eucalyptus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los individuos utilizados fueron obtenidos de un ensayo clonal de *Eucalyptus* (Cuadro 1), instalado por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de INTA Concordia, Entre Ríos en la localidad de Leandro

¹ INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. * Contacto: bulman.christian@inta.gov.ar

² INTA, CONICET, EEA Montecarlo, Misiones, Argentina.

³ UNMdP, CONICET, INTEMA, Mar del Plata; Buenos Aires, Argentina.



N. Alem, provincia de Misiones, Argentina. Situado en las coordenadas 55°18'4.27"O, 27°37'22.88"S, a una altitud de 335 m.s.n.m. De acuerdo a los datos de la estación meteorológica más cercana (EEA INTA Cerro Azul), 14 km al sur, la precipitación media anual es de 1955 mm, la temperatura media anual de 20,9 °C. El mes más cálido es enero y el más frío julio, con una frecuencia media anual de 11 heladas meteorológicas (Oliniuck, 2003).

De acuerdo a la clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Cerro Azul, se corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca, designado como Cfa. El suelo es rojo profundo, tipo Ultisol, en posición de media loma.

El ensayo fue establecido en el año 2009, con un espaciamiento de 4 m x 2,5 m y un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 5 repeticiones y parcelas de 4 plantas, con bordura simple.

Cuadro 1. Descripción de los materiales genéticos evaluados

Clon	Tipo de Clon	Material Genético	n	DAP Promedio	DE	HT Promedio	DE
EG INTA 157	Puro	<i>E. grandis</i>	12	28,7	(6,6)	34,3	(4,5)
EG INTA 36	Puro	<i>E. grandis</i>	13	33,7	(5,8)	37,8	(3,5)
GC INTA 24	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	12	27,4	(3,8)	30,7	(4,8)
GC INTA 27	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	13	32,0	(5,6)	32,9	(3,9)
GT INTA 31	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i>	8	28,5	(5,0)	30,0	(4,9)

n: cantidad de árboles medidos; DAP: diámetro a la altura de pecho (cm); HT: altura total (m); DE: desvío estándar.

A los 11 años de edad se eligieron aleatoriamente 15 árboles en total, 3 individuos de cada clon. De cada ejemplar se obtuvieron rodajas a las alturas 0,10, 2,65 y 5,50 m, de las que se obtuvo un listón central desde la médula hacia la corteza, para obtener probetas, según la norma IRAM 9544 (1973), de 2 x 2 x 2 cm discriminadas por duramen y albura. Para el cálculo de la densidad estacionada (De), saturada (Ds), anhidra (Do), básica (Db) y el contenido de humedad (CH%) se utilizaron las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) respectivamente, por medio del peso en balanza de precisión y cálculo de volumen por inmersión en agua.

$$De = \frac{P_e}{V_e} (1) \quad Ds = \frac{P_s}{V_s} (2) \quad Do = \frac{P_o}{P_o} (3) \quad Db = \frac{P_o}{V_s} (4) \quad CH = \left(\frac{P_v - P_o}{P_o} \right) * 100 (5)$$

Dónde: Pe: peso estacionado, Ve: volumen estacionado, Ps: peso saturado, Vs: volumen saturado, Po: peso anhidro y Vo: volumen anhidro.

Luego estas se agruparon por clases, primero las que abarcaron el 33 %, 66 % y 100 % del radio del duramen como A, B y C, respectivamente, y la clase D abarcó solamente probetas pertenecientes a la albura.

El análisis estadístico se realizó con modelos lineales generales y mixtos con un nivel de significancia del 5 % y el test DGC de comparación de medias, con el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo et al., 2020). En todos los casos se utilizó al árbol como variable de efecto aleatorio mientras que, las variables de efecto fijo fueron: el material genético (clones), el tipo de clones (puros e híbridos), posición radial relativa (distancia radial DM%), altura de fuste (H) y el tipo de leño (duramen y albura).

Para simplificar la presentación de los resultados se utilizó la Db al describir la tendencia en el perfil axial y transversal por ser la más difundida en el campo de la investigación científica para la comparación de especies.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Entre los clones estudiados se encontraron, diferencias significativas (p-valor = 0,0001) para todas las densidades (Cuadro 2). La De se obtuvo con el 9,45 % de contenido de humedad. Se observa que los materiales híbridos son de mayor densidad que aquellos puros. Posteriormente se analiza la influencia de los otros factores, encontrando mayor influencia por parte de la distancia radial relativa (DM) y el tipo de tejido que de la altura del fuste (H).



Cuadro 2. Valores promedio por árbol y por clon de los diferentes tipos de densidades.

Clon	n	De		Ds		Do		Db	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
EG INTA 157	51	0,47 ^c	(0,07)	0,93 ^b	(0,11)	0,45 ^c	(0,07)	0,37 ^c	(0,03)
EG INTA 36	63	0,63 ^b	(0,08)	1,06 ^a	(0,05)	0,61 ^b	(0,08)	0,46 ^b	(0,05)
GC INTA 24	49	0,67 ^b	(0,08)	1,07 ^a	(0,05)	0,65 ^b	(0,07)	0,50 ^a	(0,07)
GC INTA 27	65	0,72 ^a	(0,07)	1,10 ^a	(0,04)	0,70 ^a	(0,07)	0,52 ^a	(0,07)
GT INTA 31	46	0,72 ^a	(0,07)	1,09 ^a	(0,05)	0,70 ^a	(0,07)	0,52 ^a	(0,06)

De: densidad estacionada; Ds: densidad saturada; Do: Densidad anhidra; Db; densidad básica; n: número de muestras; DE: desvío estándar; letras diferentes indican diferencia significativa al 95% de confianza.

Se observó que entre los clones GC INTA 27 y GT INTA 31 no hubo diferencias significativas para los distintos tipos de densidades y se diferenciaron de los demás con valores medios superiores, por otro lado, el clon EG INTA 157 fue inferior y estadísticamente diferente de los otros clones en todos los casos. López et al. (2016) estudiaron los mismos materiales al 6° año de edad en Concepción del Uruguay, Entre Ríos, obteniendo resultados similares. La mayor densidad de los híbridos se debe al aporte genético de *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Harrand et al., 2017).

En la Figura 1 se compara la tendencia de la Db para cada clon, en el sentido radial y axial, discriminado por tipo de tejido. El análisis de modelos mixtos reveló que no existió interacción entre las variables clon y altura de fuste (p-valor = 0,377).

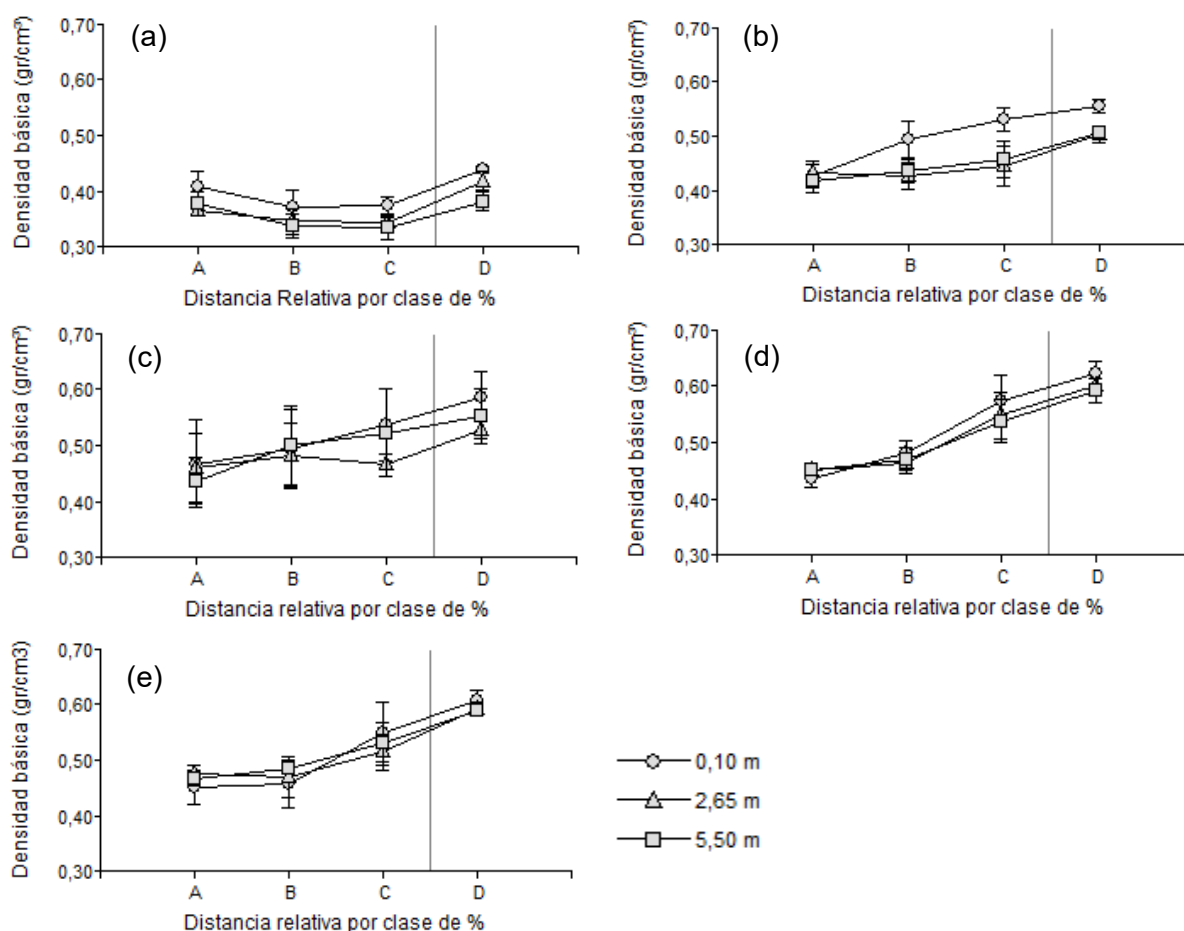


Figura 1. Comparación de la densidad básica en sentido radial y axial para los clones (a) EG INTA 157, (b) EG INTA 36, (c) GC INTA 24, (d) GC INTA 27 y (e) GT INTA 31. La línea vertical indica la separación entre duramen y albura.



De la Figura 1 se observa que independientemente de la altura de fuste considerada, la densidad de la albura es mayor para todos los clones. Cherelli et al. (2018) atribuye este comportamiento al hecho de que los individuos son jóvenes. Con la edad, el meristema cambial genera que las fibras desarrollen paredes celulares más gruesas y disminuye la frecuencia de los vasos haciendo un tejido más denso (Sette Jr. et al., 2012).

La tendencia encontrada es que la densidad aumentó desde la médula hacia la corteza, más notoriamente que las alturas, entre las cuales existe poca o ninguna diferencia, excepto para el clon EG INTA 157 en el que esta propiedad disminuye en sentido radial a través del duramen y en forma general con la altura. El patrón de incremento radial de la densidad también ha sido registrado por varios autores para *E. grandis* para edades comprendidas entre 5 y 32 años (Cherelli et al., 2018; De Oliveira et al., 2012; Winck et al., 2014). Contrariamente, Arango y Tamayo (2008) para *E. grandis* de 8 años de edad encontraron un comportamiento radial diferente al de este estudio.

Es necesario remarcar que la altura estudiada alcanzó a 5,50 m, si se tomaran muestras hasta el diámetro mínimo aprovechable (14 cm en punta fina), y otras edades, probablemente nos encontraríamos con un patrón diferente. En un estudio de variación radial y longitudinal de la densidad básica a edades juveniles y maduras en *E. grandis* para las muestras obtenidas de todo el fuste, Winck et al. (2014), encontraron patrones diferentes según la edad considerada. Para las edades entre los 5 y 10 años la densidad básica aumentó hasta el 80 % de la altura relativa, luego disminuyó, atribuyendo este comportamiento a la actividad fisiológica del árbol. Mientras que para las edades superiores a los 12 años registraron un aumento con la altura del individuo, indicando que esto podría deberse al gran porte de la especie y que el fuste actúa como un mecanismo de resistencia para poder soportar a la estructura de la copa.

4. CONCLUSIONES

Los clones híbridos *E. grandis* x *E. tereticornis* GT INTA 31 y *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 24 y 27 fueron los materiales que arrojaron mayor densidad, por lo que podrían ser apreciados por la industria del carbón dado la relación de esta propiedad con el poder calorífico. Mientras que sí se prefieren valores más bajos de densidad, por su relación con el peso, para ser utilizado en la construcción, tal vez sería más recomendable la utilización de *E. grandis* EG INTA 157 por sus menores valores de los distintos tipos de densidades evaluadas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los proyectos: "Procesos y tecnologías sostenibles para el agregado de valor en las cadenas y regiones los proyectos (2019-PE-E7- I 148-001)" y "ANPCyT por (PICT 2016 0445)" por el financiamiento; al propietario del terreno Sr. Ricardo Schesani; a los Ing. Javier Oberschelp y Leonel Harrand de EEA-INTA Concordia quienes instalaron el ensayo; a los técnicos de EEA-INTA Montecarlo, Diego Bogado y Tomás J. Haberle por el apoyo en las actividades de campo y a la MSc. Fidelina Silva por el aporte bibliográfico de los datos climáticos.

6. LITERATURA CITADA

- ARANGO, B.; TAMAYO, L. 2008. Wood Density in eucalyptus clones by X-Rays Densitometry. Rev. fac. ing. univ. Antioquia, (45), 87-99.
- AWAN, A. R.; CHUGHTAI, M. I.; ASHRAF, M. Y.; MAHMOOD, K.; RIZWAN, M.; AKHTAR, M.; SIDDIQUI, M.T.; KHAN, R. A. 2012. Comparison for physico-mechanical properties of farm-grown *Eucalyptus camaldulensis* Dehn with conventional timbers. Pak. J. Bot., 44(6), 2067-2070.
- BASTIN, J. F.; FAYOLLE, A.; TARELKIN, Y.; VAN DEN BULCKE, J.; DE HAULLEVILLE, T.; MORTIER, F.; BEECKMAN, H.; VAN ACKER, J.; SERCKX, A.; BOGAERT, J.; DE CANNIÈRE, C. 2015. Wood specific gravity variations and biomass of central African tree species: The simple choice of the outer wood. PloS one, 10(11), e0142146.
- BULMAN H., C.; WINCK, R.A.; FASSOLA, H.E.; AQUINO, D.R.; STEFANI, P.M. 2021. Tiempo de propagación de ondas de impacto para la caracterización de árboles en pie de clones de *Eucalyptus*. V Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.



- CALVO, C. F.; COTRINA, A. D.; CUFFRÉ, A. G.; PITER, J. C.; STEFANI, P. M.; TORRÁN, E. A. 2006. Variación radial y axial del hinchamiento, del factor anisotrópico y de la densidad, en el *Eucalyptus grandis* de Argentina. *Maderas-Cienc Tecnol*, 8(3), 159-168.
- CHAVE, J., COOMES, D., JANSEN, S., LEWIS, S. L., SWENSON, N. G., & ZANNE, A. E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol. Lett.*, 12(4), 351-366.
- CHERELLI, S. G., SARTORI, M. M. P., PRÓSPERO, A. G., & BALLARIN, A. W. 2018. Heartwood and sapwood in *Eucalyptus* trees: non-conventional approach to wood quality. *An. Acad. Bras. Ciênc*, 90(1), 425-438.
- DE OLIVEIRA, B. R. U., LATORRACA, J. D. F., TOMAZELLO FILHO, M., PALERMO, G. D. M., DE CARVALHO, A. M., & PASTRO, M. S. 2012. X-ray microdensitometry applied to determination of wood density variation of *Eucalyptus grandis* W. Hill trees. *Sci. For.*, 40(93), 103-112.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- HARRAND L., OBERSCHELP J., MASTRANDREA C., 2017. Mejoramiento Genético de especies cultivadas en Entre Ríos. Curso: Principios técnicos para el cultivo de especies Forestales de Entre Ríos.
- LEÓN, W. J. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *La Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 67-77.
- LÓPEZ, J. A., HARRAND, L., MARCO, M. A., & LOPEZ, A. J. 2016. Variación genética de clones híbridos de *Eucalyptus*. *Quebracho*, 24(1-2), 5-17.
- Norma IRAM 9544, 1973. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales-IRAM 9544. Método de la determinación de la densidad aparente.
- OLINUCK, J. A. 2003. Informe agrometeorológico de la localidad de Cerro Azul. Año 2002. Período 1967-2002. INTA EEA CA. Miscelánea N° 50, 20p.
- PILLAI, P.K.C., DHAMODARAN, T.K; SANKARAN, K.V. 2013. Wood density and heartwood proportion in *Eucalyptus* trees from intensively-managed short-rotation plantations in Kerala, India. *J. Trop. For. Sci.*, 25. 220-227.
- SETTE JÚNIOR C.R., OLIVEIRA I.R., TOMAZELLO FILHO M., YAMAJI F.M. AND LACLAU J.P. 2012. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore* 36(6): 1183-1190.
- WINCK, R.A. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. plantado en la región NE de la Argentina. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Misiones. 102p.
- WINCK, R.A.; FASSOLA, H.E.; BARTH, S.R.; KELLER, A.E.; CRECHI, E.H. 2014. Variación de la densidad básica de *Eucalyptus grandis* para diferentes edades y zonas agroecológicas de la Región Mesopotámica. "XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales". FCF Eldorado, Misiones.



EVALUACIÓN DEL RAJADO EN ROLLIZOS DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* DE INTA

Matías Salvador MARTINEZ¹, Ciro Andrés MASTRANDREA², Rosa Ángela WINCK³, Leonel HARRAND², Gustavo Pedro Javier OBERSCHELP²

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar las tensiones de crecimiento en clones puros e híbridos de *Eucalyptus* mediante el Índice de Rajado como así también estudiar el efecto del tiempo sobre esta variable. Los materiales utilizados fueron dos clones puros de *Eucalyptus grandis* (EG-INTA-157 y EG-INTA-36), dos clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC-INTA-24 y GC-INTA-27) y un testigo seminal de *E. grandis* (EG HSP) provenientes de un ensayo de 15 años de edad ubicado en Concordia, Entre Ríos. Se evaluaron 16 rollizos por cada material genético. El Índice de Rajado en rollos se determinó sobre imágenes digitales midiendo las áreas de rajado de cada sección. Se destacó el GC-INTA-24 como el material con menores valores de Índice de Rajado, mientras que, el GC-INTA-27 presentó los valores más altos. El material seminal presentó un comportamiento intermedio entre los clones de *E. grandis* y el GC-INTA-24. Los clones de *E. grandis* no se diferenciaron estadísticamente entre sí. El clon GC-INTA-27 se clasifica dentro de la clase alta en rajado; el clon *E. grandis* EG-INTA-36 en la clase media y el resto de los materiales evaluados a la clase baja.

Palabras clave: tensiones de crecimiento; índice de rajado; madera de calidad

1. INTRODUCCIÓN

En eucaliptos, uno de los factores que limita la producción de rollizos para madera sólida y chapas debobinadas, son las tensiones de crecimientos dentro de los troncos (Yang et al., 2005; Matos et al., 2003). Estas tensiones ocasionan defectos, contribuyendo a la disminución del valor de la madera y limitando el uso para productos de calidad; esto se puede observar en los troncos después de la tala de los árboles, en los tablones y tablas y durante las operaciones del aserradero (Trugilho et al., 2006).

El conocimiento de la distribución de las tensiones de crecimiento tiene un alto valor práctico para la industria del aserrado permitiendo mejorar técnicas de procesamientos, sin embargo, la medición de las mismas requiere del volteo de árboles tornándose altamente laborioso (Yang et al., 2005). Además, se debe tener en cuenta las tensiones de secado, originado por el gradiente de humedad durante el proceso de secado (Álvarez y Fernández-Goffin, 1992), que pueden producir deformaciones de la madera con disminución en el rendimiento.

En Argentina se han llevado a cabo diferentes evaluaciones de rajado, tanto en material de origen seminal como en clones de *Eucalyptus* para usos sólidos, indicándose índices de rajado entre muy bajos a intermedios (López, 2017; López et al., 2016; Hernández et al., 2014 y López et al., 2013) como también un incremento en el valor de este parámetro con el transcurso del tiempo almacenado (Oberschelp et al., 2007).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar las tensiones de crecimiento mediante el índice de rajado y cuantificar el efecto del tiempo sobre esta variable en cuatro clones *Eucalyptus*, empleando como testigo al material seminal de *Eucalyptus grandis*.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Concordia, Concordia, Entre Ríos, Argentina. Contacto: martinez.matias@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Concordia, Concordia, Entre Ríos, Argentina

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos (MG) (Cuadro 1), provienen de un ensayo de clones híbridos de 15 años de edad instalado en el predio de la Estación Experimental Agropecuaria Concordia, Entre Ríos (58°07'16" O, 31°21'56" S y altitud 47 m s. n. m.). La precipitación media anual es de 1 345 mm y temperatura media anual de 18 °C (Garrán y Garin, 2010). El ensayo fue establecido con un distanciamiento de 3,5 m x 3,5 m dispuesto en parcelas lineales de 5 plantas en dirección norte-sur, con doble bordura perimetral de *E. grandis*. Los materiales estudiados fueron seleccionados por sus características de crecimiento, rectitud de fuste y antecedentes de mayor tolerancia al frío.

Cuadro 1: Información general sobre los materiales genéticos evaluados en el estudio

Material Genético	Especie	Alt (m)	C.V.	Dap.cc (cm)	C.V.	Vol.cc (m³)	C.V.
EG HSP	<i>E. grandis</i> de semilla	31,68 (27,8 – 35,0)	7,25	29,19 (22,1 – 33)	15,78	0,996 (0,47 – 1,37)	33,96
EG INTA 157	Clon <i>E. grandis</i>	27,80 (21,8 – 32,4)	14,12	22,41 (16,2 – 31,8)	25,15	0,565 (0,22 – 1,15)	58,57
EG INTA 36	Clon <i>E. grandis</i>	33,89 (31,6 – 36,5)	4,88	30,23 (25,3 – 38,5)	13,87	1,141 (0,73 – 1,84)	31,60
GC INTA 24	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	28,55 (26,5 – 31,1)	5,03	22,16 (18,8 – 27,2)	12,43	0,460 (0,27 – 0,62)	25,82
GC INTA 27	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	33,49 (30,5 – 35,5)	5,15	27,15 (22,6 – 33,1)	14,32	0,852 (0,54 – 1,34)	32,16

Alt = Altura total, C.V.=Coeficiente de Variación, Dap.cc = Diámetro a 1,3 m de altura del suelo con corteza (cm), Vol.cc = Volumen promedio individual. Entre paréntesis, máximos y mínimos de la variable.

Se seleccionaron 8 árboles de cada material genético. Se tomaron dos rollizos inmediatamente por encima del 1,30 m con una longitud de 3,20 m. Los mismos fueron identificados como R1 (desde 1,45 m a los 4,65 m del fuste) y R2 (desde 4,80 m a los 8,00 m del fuste).

El índice de rajado en rollos (IRr) se determinó sobre imágenes digitales mediante mediciones de las áreas de rajado de cada sección con respecto al área de la misma sección del rollizo sin corteza. Se realizó el registro fotográfico de cada una de las caras de los rollizos considerándose tres intervalos: 0 hora (inmediato al apeo), a las 72 h y 144 h después del apeo. La cámara se mantuvo a una distancia de 50 cm desde la cara del rollizo. Los extremos de los rollizos fueron cubiertos con bolsas plásticas hasta las 72 horas para evitar pérdida de humedad, retardando el proceso de secado, retracción y colapso. Las mediciones de las áreas se efectuaron con QGis 3.10. El Índice de Rajado se calculó con la fórmula [1] derivada de Lima (2000):

$$\text{Ecuación [1]: Índice de Rajado} = \frac{\sum_{i=1}^n A}{S} * 100$$

dónde: A= área de la rajadura (i=1,...,n). S = sección transversal que contiene las rajaduras.

En el análisis se utilizaron modelos lineales generales mixtos (MGL), donde los factores fijos fueron los materiales clonales y posición de los rollizos, mientras que factor aleatorio el árbol. La comparación de medias se realizó mediante el test de DGC a un nivel de significancia de 5 %. Previamente se realizaron los test del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza. Los datos extremos considerados "outliers" se desestimaron del análisis.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del Cuadro 2 se desprende que el menor valor de IRr se presenta en el clon GC-INTA-24, seguido por el material seminal. Los clones puros EG presentaron valores medios mayores a los de semilla, aunque estas diferencias no fueron significativas. En el clon GC-INTA-27 en los diferentes momentos, se observó mayores valores de IRr con una clara diferenciación respecto a los demás materiales genéticos. Las medias de los distintos intervalos de tiempo para el IRr presentaron un marcado comportamiento con una tendencia lineal de incremento del rajado en el tiempo. La homogeneidad del IRr (medido a través del coeficiente de variación) en la observación 0 hora resulta ser mayor para el material seminal, a las 72



horas el clon GC-INTA-24 presentó la menor variabilidad y a las 144 horas la menor variación se presentó en el clon GC-INTA-27.

Cuadro 2. Medidas del Índice de Rajado en rollizos en tres momentos de observación.

Hora	0		72		144	
Material genético	IRr	C. V.	IRr	C. V.	IRr	C. V.
EG HSP	0,19 ^a (0,04-0,34)	33,29	0,48 ^a (0,17-0,86)	36,42	1,14 ^b (0,01-2,09)	43,75
EG INTA 157	0,23 ^a (0,07-0,44)	40,96	0,38 ^a (0,19-0,57)	25,75	1,21 ^c (0,40-2,29)	40,05
EG INTA 36	0,27 ^a (0,06-0,57)	42,77	0,59 ^b (0,26-1,04)	38,17	1,62 ^c (0,62-2,96)	42,05
GC INTA 24	0,23 ^a (0,11-0,48)	44,18	0,40 ^a (0,30-0,58)	20,96	0,73 ^a (0,32-1,52)	40,91
GC INTA 27	0,95 ^b (0,34-1,99)	46,93	2,82 ^c (0,54-5,96)	50,30	3,96 ^d (1,32-7,30)	39,39
Promedio	0,36^A		0,84^B		1,56^C	

IRr: Índice de rajado en rollo para cada material genético, con mínimos y máximos entre paréntesis. C.V.: Coeficiente de variación. Medias con una letra y símbolo común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Los incrementos promedio de IRr, desde las 0 horas hasta las 72 horas, fueron para los clones puros EG del 92 %, los clones híbridos un 135 % y la semilla un 140 %. Conformando estos incrementos en los clones puros EG, los materiales EG INTA 157 y EG INTA 36, presentan incrementos de 65 % y 119 %, respectivamente, mientras que en los clones híbridos, los materiales GC INTA 27 y GC INTA 24, los incrementos fueron de 197 % y 74 %, respectivamente.

A partir de las 72 horas hasta las 144 horas, los IRr promedio se incrementaron en los clones híbridos en un 62 %, los clones puros EG 194 % y la semilla 139 %. Incidiendo en los clones híbridos, el GC-INTA-27 y GC-INTA-24 con 40 % y 83 %, respectivamente y en los clones puros EG, conformado por EG-INTA-157 y EG-INTA-36 con 218 % y 175 %, respectivamente.

No hubo diferencias estadísticamente significativas en el IRr entre R1 y R2 de todos los MG para la 0 h. En cambio, a las 72 h el GC-INTA-27 arrojó diferencias estadísticamente significativas entre rollizos, siendo el IRr para R1 de 3,02 y para el R2 de 2,41. Para las 144 h se observaron diferencias en el IRr entre R1 y R2 en los materiales EG-INTA-36 y GC-INTA-27, con valores en R1 de 1,18 y R2 de 1,42 para el primer material genético y R1 de 4,32 y R2 de 3,41 para el segundo. El EG-INTA-157 no tuvo diferencia estadísticamente significativa en el IRr entre las 0h y 72 h, comparado con los demás MG, que demostraron un comportamiento diferente.

Los resultados obtenidos indican que los clones EG-INTA-157, GC-INTA-24 y el testigo EG HSP pertenecen a la clase baja, el clon EG-INTA-36 se considera como de clase media y el clon GC-INTA-27 se corresponde a una clase alta; con respecto a las clases de severidad del IRr sugeridas por López et al. (2009) para *E. grandis* en evaluaciones de tensiones de crecimiento a las 72 horas.

Las tensiones de crecimiento obtenidas a través del IRr mostraron comportamientos similares con la bibliografía consultada, con incrementos en las tensiones de crecimiento al transcurrir del tiempo de observación (Oberschelp et al., 2007). Los IRr son coincidentes con los observados por Caniza et al. (2007) quienes registraron valores entre 0,66 a 1,06 para clones de *E. grandis* de 8 años de edad a las 72 horas. López et al. (2018), en clones puros e híbridos de *E. grandis* de 14 años de edad, obtuvo valores superiores al del presente trabajo, donde se obtuvieron para los clones puros EG-INTA-36 y EG-INTA-157 1,23 y 0,88, respectivamente; dentro de los clones híbridos se encontró el clon GC-INTA-27 que presentó valores de IRr 2,05 y la semilla valores de 1,13. En la especie *E. dunnii* para la edad de 20 años se encontraron valores de IRr de 1,015 (López et al., 2016).

López et al. (2016), en materiales evaluados a los 6 años, observaron valores menores con respecto al presente trabajo, 0,34 para EG HSP, 0,43 y 0,35 para los clones puros EG-INTA-36 y EG-INTA-157, y en el clon híbrido GC-INTA-27, 0,554. Otras experiencias para esta misma edad y metodología de trabajo, registraron índices de 0,47 y 0,52 para los clones puros EG-INTA-157 y EG-INTA-36, respectivamente.



Se observó que los valores obtenidos difieren según sitios y edades de evaluación, pero el ranking entre clones se mantiene.

Según Da Silva et al. (2017) en *E. urophylla* de 13 años, es más eficiente aserrar a las 72 horas después de apeados los árboles en vez de 10 días después de su tala, para reducir las tensiones de crecimiento y presencia de rajado en los rollizos. Matos et al. (2003) obtuvieron valores menores de rajado en las tablas en aquellos procesados a las 72 horas después de ser talado respecto a los de 12 días en *E. dunnii* de 13 años; según ambos autores, al igual que en nuestro trabajo, los índices de rajado estuvieron relacionados también con el efecto del secado durante el tiempo de estacionado al aire libre en campo.

En un estudio de rajado de clones de *E. grandis* x *E. urophylla* de 19 años (Franca et al., 2020) tuvieron un incremento promedio del índice de rajado de 134 % en los rollos al aire libre, mientras que el aumento promedio entre 24 h y 1 semana fue del 60 %; en nuestro estudio para las 72 h se obtuvieron valores similares en los híbridos, pero inferiores en el caso de clones puros. Considerando el periodo desde las 72 horas hasta las 144 horas, el incremento promedio en clones puros fue de 194 % y en los híbridos 62 %. Esto puede deberse a que se liberaron todas las tensiones al principio en los clones híbridos en comparación con los clones puros. En estudios similares en progenies en *E. grandis* realizado por Santos et al. (2004) y Braz et al. (2017) mencionan que estas tensiones están relacionadas con los factores genéticos y ambientales.

4. CONCLUSIONES

En el periodo global de observación, se destacó el GC-INTA-24 como material con menores valores de Índice de Rajado en rollizos y el GC-INTA-27 con los más altos índices y el material seminal con comportamiento intermedio entre los clones EG y el GC-INTA-24. Los clones EG-INTA-36 y EG-INTA-157 no se diferenciaron entre sí.

Los IR en rollizos R1 y R2 se diferencian a partir de transcurrido las 72 horas de su apeo, para GC-INTA-27 únicamente, donde R2 posee menores valores de rajado. En cambio, a partir de las 144 horas después del apeo se incorpora, además del GC-INTA-27, el EG-INTA-36 con diferencia entre R1 y R2, donde en este caso mayores rajados se encuentra en el primer rollizo.

Los Índices de Rajado en rollizos fueron diferentes para cada momento de observación, e incrementaron con una tendencia lineal. Al instante del apeo, el clon GC-INTA-27 presentó un comportamiento diferente al resto de los materiales, con mayores valores, y con el transcurso del tiempo de observación estas diferencias entre los materiales se fueron incrementando.

Para minimizar el efecto de rajado es aconsejable procesar los rollizos de manera inmediata, mayores tiempos de exposición de los rollos al aire libre, generara un incremento en los valores de índices de rajados, lo que conlleva a menores rendimientos.

El material *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC-INTA-27 se clasifica dentro de la clase alta en rajado; en cambio el clon *E. grandis* EG-INTA-36 se encuentra en la clase media y los demás pertenecen a la clase baja.

El estudio de la evolución del rajado por las tensiones de crecimiento, secado y contracciones de los rollizos en estos materiales genéticos, permitió conocer su comportamiento en el transcurso del tiempo; contribuyendo con información que permita una adecuada elección del material genético y de un correcto procesamiento hasta alcanzar su primera transformación.

Los materiales, GC-INTA-24 y el EG-INTA-157, obtuvieron mejor comportamiento respecto a menores presencia de rajado, uniformidad del mismo en diferentes rollizos evaluados y momento de observación. Se debe considerar que el material seminal tuvo un comportamiento intermedio entre estos materiales clonales.

Se deben seguir evaluando este tipo de variable, en otros estudios que involucren otras situaciones, como edad, condiciones agroclimáticas o manejo.



5. LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, H.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid. 193 p.
- BRAZ, R.L.; DA SILVA OLIVEIRA, J.T.; ROSADO, A.M.; BATTISTA VIDAURRE, G.; LIMA DE OLIVEIRA, J.G. 2017. Deformação residual longitudinal de clones de *Eucalyptus* em local sujeito a sentos. *Floresta Ambiente*, 24. e00028013. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.028013>
- CANIZA, J.; LÓPEZ, J.; MONTENEGRO, P.; ASSAME, S.; APARICIO, J. 2007. Variación de las tensiones de crecimiento en tres clones de *Eucalyptus grandis* según el estado de competencia individual. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Argentina. 2007. Páginas 1–9.
- DA SILVA, J.C.; LADEIRA CARVALHO, A.M.M.; FARIA, B.F.H. 2017. Métodos para el alivio y reducción de los efectos del estrés de crecimiento en *Eucalyptus urophylla*. *Rev. Árvore* 41 (4). 8p. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000400003>
- FRANÇA, N.; FRANÇA, F.A.; SUELY, T.; VIDAURE, G. 2020. Effect of growth stress and interlocked grain on splitting of seven different hybrid clones of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* wood. *Holzforschung*, 74(10), 917-926. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0209>
- GARRÁN, S.; GARIN, O. 2010. Síntesis agroclimática de la región de Concordia. Concordia-Entre Ríos: EEA INTA.
- HERNÁNDEZ, M., ZADERENKO, C.; MONTEOLIVA, S. 2014. Estrés de crecimiento y propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus dunnii* en Argentina. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(3): 373-384. Repositorio institucional - UNLP
- LIMA, I.L.; GARCIA, J.N.; NOGUEIRA, M.C.S. 2000. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden growth stress. *Scientia Forestalis*, (58):111-125. ISSN 2318-1222 (online).
- LÓPEZ, J. A.; HARRAND, L., MARCÓ, M.A.; LÓPEZ, A.J. 2016. Variación genética de clones híbridos de *Eucalyptus*. *Quebracho Revista de Ciencias Forestales*, 24(1,2): 5-17.
- LÓPEZ, J.; BORRALHO, N.; LÓPEZ, A.; MARCÓ, M.; HARRAND, L. 2016. Variación genética del índice de rajado de rollizos en *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Ciencia e Investigación Forestal (INFOR)*, 22(2): 23-34.
- LÓPEZ, J. 2017. Variación genética de propiedades físicas y organolépticas de importancia para usos sólidos de alto valor de clones híbridos de *Eucalyptus* de Entre Ríos [Presentación/Ponencia]. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. INTA. Entre Ríos, Argentina, 67-76. ISSN 1668-8279.
- LÓPEZ (H), J.A.; MASTRANDREA, C.A.; LÓPEZ, A.J.; HERNANDEZ, M.; MARTÍNEZ, M.; OBERSCHELP, G.P.J.; HARRAND, L. 2018. Tensiones de crecimiento, propiedades físicas, mecánicas y defectos en tablas de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* del INTA [Presentación]. XXXII Jornadas Forestales De Entre Rios, INTA. Entre Rios, Argentina, 41-53. ISSN 1668-8279.
- MATOS, J.L.M.; IWIKARI, S.; ROCHA, M.P.; PAIM, R.M.; ANDRADE, L.O. 2003. Redução do efeito das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii*. *Scientia Forestalis* (64):128-135. ISSN 2318-1222 (online).
- OBERSCHELP, G.P.J.; MARCÓ, M.A.; SÁNCHEZ ACOSTA, M.; MASTRANDREA, C. 2007. Propiedades de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. dunnii* Maiden y *E. saligna* Sm. relacionadas a usos sólidos de alto valor [Ponencia]. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales IBEROMADERA, Buenos Aires, Argentina. 7p
- SANTOS, P.E.T.; GERALDI, I.O.; GARCIA, J.N. 2004. Estimates of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis*. *Genetics and Molecular Biology*, 27(4). <https://doi.org/10.1590/S1415-47572004000400017>
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ANDRADE DE PÁDUA, F.; CARVALHO SORAGI, L.; ANDRADE, C.R. 2006. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. *Cerne*, 12(3):279-286.
- YANG, J. L.; BAILLÉRES, H.; OKUYAMA, T.; MUNERI A.; DOWNES, G. 2005. Measurement methods for longitudinal surface strain in trees: a review. *Australian Forestry*, 68(1): 34-43. <https://doi.org/10.1080/00049158.2005.10676224>



PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD ESTRUCTURAL DE FAMILIAS DE PINO HÍBRIDO F1 INTA-PINDO

Rosa A. WINCK^{1,2*}, Lucía R. WINCK³, Ector C. BELABER¹, Diego R. AQUINO¹, Hugo E. FASSOLA¹, María C. AREA⁴, María E. GAUCHAT¹

RESUMEN

Se seleccionaron 15 familias híbridas F₁ INTA-PINDO, 5 de cada posición del ranking genético de crecimiento (superior, intermedio e inferior) provenientes de 2 ensayos. Se evaluaron a través de distintos indicadores de la calidad estructural de la madera. Sobre los árboles en pie se determinó la velocidad de propagación del sonido (VS) en todos los ejemplares. Paralelamente se extrajeron tarugos para estimar la densidad verde (ρ_v), contenido de humedad (CH) y ángulo microfibrilar (AMF). Una vez procesados los datos, con la ρ_v y VS se calculó el módulo de elasticidad dinámico (MOE_d) para árboles en pie. Por otro lado, se seleccionaron 90 ejemplares y la altura de 1,30 m se tomaron rodajas para evaluar la densidad básica y estacionada. Para analizar el porcentaje de área coloreada (presencia de resina) y ancho de anillos de crecimiento las muestras fueron obtenidas a las alturas de fuste 0,10; 1,30 y 4,45 m. Se identificaron 6 familias con características deseables para usos sólidos. En general, las familias de mejor desempeño para calidad estructural fueron las pertenecientes a la posición superior del ranking genético de crecimiento consolidando la factibilidad de seleccionar por crecimiento y calidad de madera, simultáneamente.

Palabras clave: rigidez, velocidad de sonido, propiedades de la madera, *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, ángulo microfibrilar

1. INTRODUCCIÓN

La estimación de la rigidez de la madera de los árboles en pie a través de la medición del tiempo de propagación de ondas es un paso importante para la caracterización de la materia prima a ser utilizada en procesos industriales, sobre todo si es destinado a usos estructurales. Para ello, existen herramientas acústicas que han sido ampliamente aceptadas por las industrias forestales para estimar la rigidez o el módulo de elasticidad de la madera (Llana et al., 2016). Las técnicas acústicas son eficaces para evaluar la calidad estructural de los árboles en pie (Merlo et al., 2014). En coníferas, comúnmente utilizada en las construcciones, los anillos de crecimiento anuales se pueden apreciar en forma de capas bien marcadas y visibles, constituidos por leño temprano y tardío. Las traqueidas del leño temprano poseen paredes celulares delgadas y lúmenes grandes, mientras que las del leño tardío presentan cavidades pequeñas con paredes gruesas, lo que le proporciona una mayor densidad a este último (Álvarez Lazo et al., 2011) y le confiere mejores propiedades mecánicas. Por otro lado, las propiedades de la madera se pueden mejorar a través de los tratamientos silvícolas y del mejoramiento genético. El fenotipo de un árbol es la combinación entre su genotipo y el ambiente, más la interacción entre ambos. Según Gonçalves et al. (2009), el factor ambiental tiene influencia importante en la coloración de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* siendo ésta una característica no deseada por el sector forestoindustrial. Para el pino híbrido F₁ INTA PINDO la industria detecta recientemente la disconformidad de los clientes en el mercado internacional de productos terminados obtenidos a partir del procesamiento industrial de esta especie, de ahí la necesidad de atender esta demanda. Mientras que, si se prefieren para usos estructurales maderas con grandes proporciones de leño tardío, con altos

¹ INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. *Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar

² IMAM, UNaM, FCF, Laboratorio de Tecnología de la Madera, Eldorado, Misiones, Argentina.

³ UNaM, FCF, Graduada en Ingeniería Forestal, Eldorado, Misiones, Argentina

⁴ IMAM, UNaM, CONICET, FCEQYN, Programa de Celulosa y Papel (PROCYP), Posadas, Misiones, Argentina



valores de densidad y módulo de elasticidad y bajos valores de ángulo microfibrilar. Este último tiene gran influencia sobre el comportamiento físico-mecánico y de la calidad estructural de la madera (Donaldson 1996; Deresse et al., 2003; Hein et al., 2013; Winck et al., 2013).

El objetivo de este trabajo consistió en utilizar distintos parámetros indicadores de calidad estructural de la madera para identificar a las familias híbridas F₁ INTA-PINDO de mejor comportamiento para usos sólidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado, pino híbrido, *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE × PCH), en adelante “F₁ INTA-PINDO”, se obtuvo de 2 ensayos. El primero, implantado en Laharrague en el campo del INTA (26° 33' latitud S y 54° 40' longitud O, sitio 1) y el segundo establecido en propiedad de la empresa PINDO SA en la localidad de colonia Delicia km 22 (26° 09' latitud S y 54° 26' longitud O, sitio 2). El diseño de plantación correspondió al de bloques completos, con tratamientos distribuidos al azar en parcelas lineales conformadas por 5 hermanos completos. El clima de la región de estudio se caracteriza por presentar una precipitación media anual de 1864,5 mm, con temperaturas medias en los meses más cálidos y fríos de 26,4 °C y 14,9 °C, en enero y julio, respectivamente (Silva et al., 2019).

A los 11 años de edad se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP), altura total (h) y el tiempo de desplazamiento de la onda en todos los árboles de ambos ensayos. En base al ranking genético de crecimiento del 7^{mo} año, 15 de las 66 familias fueron seleccionadas para este estudio, 5 de la posición superior del ranking (R1), 5 intermedias (R2) y 5 del inferior (R3) (Cuadro 1). Se seleccionaron 90 árboles, 45 individuos de cada ensayo, abarcando la variabilidad en DAP. Paralelamente a la altura de 1,30 m se extrajeron tarugos de 5 mm de diámetro y 3 cm de profundidad para determinaciones de densidad verde (ρ_v), contenido de humedad (CH) y ángulo microfibrilar (AMF). Se apearon los ejemplares y a las alturas de 0,10; 1,30 y 4,45 m se tomaron 270 rodajas de 1” de espesor para analizar anillos de crecimientos y proporción de área coloreada (zona con presencia de resina). Las densidades, básica (ρ_b) y estacionada (ρ_e) fueron evaluadas solo en la rodaja correspondiente a 1,30 m de altura.

El procesamiento de los tarugos permitió determinar los valores medios de ρ_v (Ec.1) y el CH (Ec. 2) por familia al momento de la medición del tiempo de propagación de onda (SWT del inglés Stress Wave Time). El SWT entre un transductor de inicio y otro de finalización situados a una distancia conocida (Dc) de 1000 mm se midió en microsegundos, con el equipo TreeSonic Timer (Fakopp® Enterprise). Luego se estimó la velocidad del sonido (VS) (Ec. 3). Conociendo la ρ_v y la VS se calculó el módulo de elasticidad dinámico (MOEd) (Ec. 4)

Cuadro 1: Ranking genético de crecimiento para las 15 familias de ambos sitios.

Posición en el Ranking	Crecimiento	Familia	Código Familia
R1	superior	F19	01
		F51	02
		F20	03
		F28	04
		F29	05
R2	intermedio	F49	06
		F4	07
		F5	08
		F13	09
		F33	10
R3	inferior	F11	11
		F23	12
		F59	13
		F6	14
		F35	15

$$\rho_v = \frac{P_v}{V_v} \text{ (Ec. 1)}$$

$$CH = \left(\frac{P_h - P_0}{P_0} \right) * 100 \text{ (Ec. 2)}$$

$$VS \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{(1000 * D_c \text{ (mm)})}{(SWT \text{ (}\mu\text{s)} + 2,8)} \text{ (Ec. 3)}$$

$$MOE_d \text{ (Gpa)} = \frac{\rho_v \left(\frac{kg}{m^3} \right) * VS^2 \left(\frac{m}{s} \right)}{1000000000} \text{ (Ec. 4)}$$

Donde P_v = peso en estado verde, V_v = volumen en estado verde, P₀ = peso anhidro, D_c = distancia conocida de 1000 mm, SWT, valor medio del tiempo propagación de onda obtenido con el TreeSonic en μs , y 2,8 es un factor corrección (relación entre tiempo y distancia), especificado en cada equipo.



Por otro lado, las 270 rodajas se secaron en estufa a 70 °C durante 72 horas y se lijaron para visualizar con mayor facilidad los anillos de crecimiento e identificar falsos anillos. En cada rodaja se midió con regla el diámetro sin corteza y diámetro de la zona central coloreada de manera ortogonal; en ambos casos se obtuvo el promedio entre las dos mediciones. Con el diámetro promedio de la zona coloreada se determinó el área coloreada de la zona central de cada rodaja. La proporción de área coloreada se obtuvo respecto al área total de la sección transversal sin corteza, a diferentes alturas.

Para estimar el área del leño temprano (LTe) y leño tardío (LTa) de cada anillo de crecimiento, se midieron previamente con regla los diámetros hasta la finalización de cada anillo de crecimiento y los diámetros que abarcan el LTe desde el año 1 al 11. Luego, para cada edad se calcularon las áreas para el anillo completo y para el LTe, respectivamente. Los valores de áreas del LTa para cada edad, se obtuvieron por diferencia entre el dato del anillo completo y el área del LTe. En cada rodaja se determinó el área acumulada y el área para un anillo específico, esta última mediante la diferencia entre los valores de dos anillos sucesivos. La proporción de LTa se obtuvo respecto al área total de la sección transversal sin corteza, a diferentes alturas. Una vez finalizada la medición de la coloración y anillos de crecimiento, se confeccionaron probetas de un radio de la rodaja a la altura 1,30 m, se seleccionó solamente el cubo más cercano a la corteza y se determinó la ρ_b y ρ_e según la norma IRAM 9544 (1973).

Los tarugos para estudios anatómicos fueron secados en estufa a 70 °C hasta alcanzar un contenido de humedad del 12 %. Luego se pulieron y se tomó una fracción del leño tardío del anillo 11. Las muestras se disociaron utilizando una solución de ácido acético y agua oxigenada en partes iguales, y luego se tiñeron con safranina al 1 %. Los disociados fueron observados empleando un microscopio óptico "Nikon" con una cámara digital acoplada y un Software, "NIS-Elements", incorporado para mediciones celulares. El AMF se midió según la técnica de Huang et al. (1998). Se utilizó la norma IAWA (2004). Se realizaron en total 15000 mediciones constituidas por 25 repeticiones.

Los análisis fueron realizados con el software Infostat (Di Rienzo et al., 2020), se calcularon los estadísticos descriptivos y se verificó la presencia de datos atípicos. Posteriormente se analizaron los datos utilizando modelos lineales mixtos con efectos fijos de sitios, familias, y edad para el ancho y área de anillos, con el efecto aleatorio de árbol. Se determinó la significancia estadística a un nivel de del 5 % y para comparación de medias se utilizaron test LSD (para ancho de anillos y ρ_b y ρ_e) y DGC (para las demás variables).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre sitios (p -valor $>0,05$) para el MOEd, ancho y área de anillos de crecimiento, % de LTa, % de área coloreada, ρ_b y ρ_e . Pero sí para el AMF (p -valor $<0,05$). Por otro lado, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre familias (p -valor $<0,05$) para el MOEd, ancho y área de anillos de crecimiento, % de área coloreada y AMF. Mientras que no se detectaron diferencias entre familias para % de LTa, ρ_b y ρ_e .

Los valores promedios obtenidos fueron 26,98 cm de DAP; 21,53 m de h; 1015 kg/m³ de ρ_v ; 58, 17 % de CH; 3689 m/s de VS; y 13,92 Gpa de MOEd, con valores extremos de 9,00 y 18,51 Gpa para este último. Merlo et al. (2014) encontraron una relación fuerte y positiva entre MOE a nivel de árbol y tabla ($r = 0,6319$, $p < 0,0001$) afirmando que las herramientas acústicas son eficaces para evaluar calidad estructural de los árboles en pie. Se identificaron 4 familias con buen desempeño en MOEd (Gráfico 1). Las familias con mayores valores de MOEd, pertenecen a la posición 1 y 2 del ranking de crecimiento, consolidando la factibilidad de seleccionar por crecimiento y calidad de madera, simultáneamente.

Las familias que arrojaron un mayor promedio en el porcentaje de coloración fueron la 01 y 03, con valores de 3,94 % y 5,00 %, respectivamente. Ambas familias tienen en común uno de los progenitores, la madre. Cabe destacar también, que la coloración no siguió un patrón cilíndrico dentro de la porción de fuste analizada pudiendo esto afectar al rendimiento industrial. Por otro lado, la familia 02 presentó mayor ancho promedio de anillos (1,35 cm), seguida por las familias 01, 03, 04, 05 y 07 (con valores medios entre 1,28 y 1,30 cm). Las familias 06, 08, 09, 10, 11, 12 y 13 presentaron valores intermedios comprendidos entre 0,98 y 1,23 cm, mientras que, los menores valores se dieron en las familias 14 (0,96 cm) y 15 (0,94 cm).

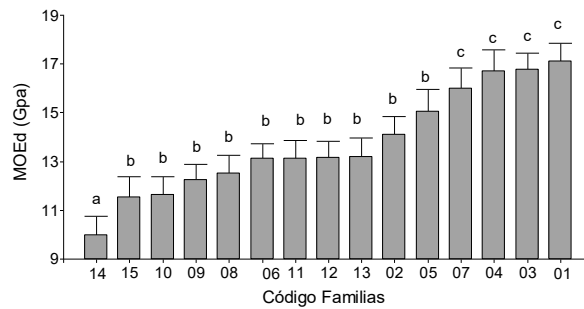


Gráfico 1. Promedio del MOEd para las familias estudiadas.

En cuanto al comportamiento en crecimiento, se destacó que las mismas familias mantienen la superioridad, independientemente de la edad considerada. El incremento en el ancho de anillos fue significativamente mayor en el primero y segundo año, con una media de 2,12 cm. A partir de esa edad, se apreció un decrecimiento lineal hasta el 8^{vo.} y 9^{no.} año, que arrojó un valor medio de 0,56 cm para los 8 y 9 años de edad, descendiendo a 0,28 cm a los 11 años. Se observó una mayor variabilidad en el ancho de anillos entre familias al primer año, donde se registraron valores desde 1,48 a 2,77 cm; aumentando la homogeneidad con la edad, arrojando a los 11 años valores medios entre 0,15 y 0,62 cm. El Gráfico 2a muestra el incremento en el ancho de anillos para una familia de cada posición del ranking genético (es decir, R1, R2 y R3), donde puede observarse que las mismas mantuvieron su performance a través de las edades. Por otro lado, el Gráfico 2b muestra que el mayor incremento del área de los anillos se registró al 5^{to.} año, alcanzando valores de 80,39 cm², 69,23 cm² y 46,57 cm² para las posiciones R1, R2 y R3, respectivamente. Seguido por el 3^{er.}, 4^{to.} y 6^{to.} año alcanzando valores diferenciados según clase de ranking. Durante el 1^{ro.} y 2^{do.} año, todas las familias alcanzaron un desarrollo similar, sin embargo, a partir del año 3, las familias de la posición R3 disminuyeron su tasa de crecimiento, lo cual se acentuó con el aumento de la edad. A partir del 5^{to.} año las familias del ranking R1 y R2 se destacaron aún más en su desarrollo respecto al R3. Al 6^{to.} año se redujo el crecimiento para las familias de todas las clases del ranking. Las familias de la posición R3 y R2 arrojaron menor valor de incremento anual en el ancho de anillos.

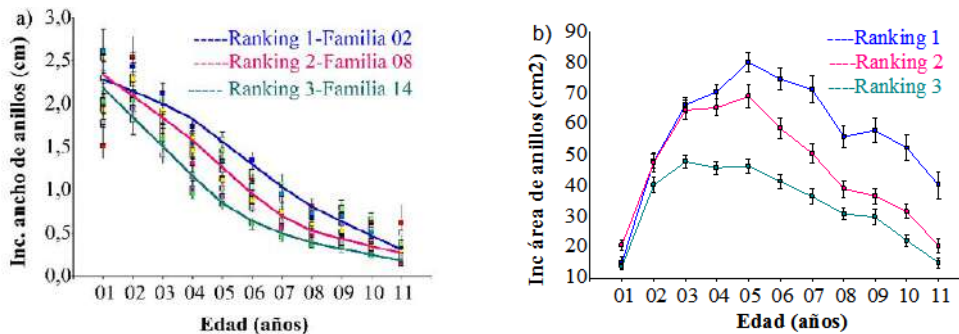


Gráfico 2. a) Variación anual en el incremento medio del ancho de los anillos de crecimiento para familias representativas de las 3 posiciones del ranking genético. b) Incremento anual promedio en el área de los anillos de crecimiento para las 3 posiciones del ranking.

Los valores medios de ρ_b variaron entre 0,40 y 0,48 g/cm³ y los de ρ_e entre 0,52 y 0,62 g/cm³. La tendencia fue de registrar valores superiores para el sitio 2 y para las familias 01 y 13. La familia 01 presentó la mayor proporción de área coloreada (resina) influyendo en los valores de ρ_b y ρ_e , la familia 13 se corresponde a la posición R3 del ranking y con menores valores en ancho de anillos repercutiendo también en los valores de densidad, esto estaría indicando que no es suficiente utilizar a la densidad como único predictor de la calidad estructural de la madera. Los valores medios de AMF para el sitio 1 y 2 fueron de 18,92° y 20,40°, respectivamente, similares a los registrados por Harding et al. (2004) para F₁ de pino híbrido. Las familias con menores valores de AMF comunes en ambos sitios fueron 02, 03, 04, 07 y 09 y para el sitio 1 también las familias 01 y 05. Estas familias en su mayoría forman parte del R1, esto sugiere la factibilidad de realizar la selección del material genético en base a su crecimiento volumétrico, sin que sean afectadas negativamente las características relacionadas a la calidad estructural.



4. CONCLUSIONES

Las familias de la posición R1 del ranking genético de crecimiento y la familia 07 de la posición R2 del ranking, presentaron características indicadoras de un mejor desempeño para uso estructural, con mayor crecimiento a través del tiempo, mayores valores de velocidad del sonido, densidad, módulo de elasticidad dinámico y menores valores de ángulo microfibrilar, consolidando la factibilidad de seleccionar por crecimiento y calidad de madera, simultáneamente. Mientras que las familias pertenecientes a la posición R3 del ranking presentaron características poco alentadoras como para ser reproducidas. En principio, sin estudios más detallados, no sería recomendable la propagación y difusión de las familias 01 y 03, debido al alto porcentaje de área coloreada que presentaron, esta característica restringe la fabricación de productos macizos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Pindó S.A. quien facilitó el sitio donde oportunamente se instaló uno de los ensayos de progenies, además por su colaboración en el mantenimiento y el cuidado del mismo. Al Proyecto INTA 2019-PE-E6-I146-001: Mejoramiento genético de especies forestales cultivadas de rápido crecimiento: un desarrollo clave para el fortalecimiento de la foresto industria nacional, por el financiamiento brindado para desarrollar la investigación. Y a los técnicos de INTA (Iris Elsa Figueredo, Cristian Rotundo, Tomas Joaquín Haberle, Diego Bogado y Otto Knebel) por la cooperación en las tareas de campo y de laboratorio.

6. LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ LAZO, D.; DORADO, M.; CAMUSSO, C.; LUBRANO, P. 2011. Tecnología de la madera. Edit. Universitos, Córdoba, Argentina. 153 pp.
- DERESSE, T.; SHEPARD, R.K.; SHALER, S.M. 2003. Microfibril angle variation in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) and its relation to the strength and stiffness of early juvenile wood. *For Prod J* 53: 34– 40. <http://kb.forestprod.org/Main/ind/?id=67004>.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>.
- DONALDSON, L.A. 1996. Effect of physiological age and site on microfibril angle in *Pinus radiata*. *IAWA J* 17(4): 421-429. https://brill.com/view/journals/iawa/17/4/article-p421_8.xml.
- GONÇALEZ, J. C.; SOARES VIEIRA, F.; ALVES CAMARGOS, J. A.; JORDÃO ZERBINI, N. 2009. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Cerne*, 15(2):251-255.
- HARDING, K.J., COPELY, T.R., TOON, P.G.; DIETERS, M.J. 2004. Improving wood quality in a hybrid pine clonal forestry program in Queensland, Australia. IUFRO Forest Genetics Meeting Proceedings. Pg. 359-371. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:101610>.
- HEIN, P.R.G.; SILVA, J.R.M.; BRANCHERIAU, L. 2013. Correlations among microfibril angle, density, modulus of elasticity, modulus of rupture and shrinkage in 6-year-old *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*. *Maderas-Cienc Tecnol* 15(2): 171-182. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v15n2/aop1413.pdf>.
- HUANG, C.L.; KUTSCHA, N.P.; LEAF, G.J.; MEGRAW, R.A. 1998. Comparison of microfibril angle measurement techniques. In: B.G. Butterfield (ed.), *Microfibril angle in wood*: 177-205. IAWA and IUFRO, Christchurch, New Zealand.
- IAWA. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. 2004. List of microscopic features for softwood identification. *IAWA bulletin*, Utrecht, 25 (1): 1-70. https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/01_IAWA-Softwood_List.pdf.
- LLANA, D.F.; IÑIGUEZ-GONZALEZ, G.; ARRIAGA, F.; WANG, X. 2016. Acoustic test of timber, *BioResources* 11 (2), 3303-3317.
- MERLO, E.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; SANTA CLARA, O.; RIESCO, G. 2014. Modelling modulus of elasticity of *Pinus pinaster* Ait. in northwestern Spain with standing tree acoustic measurements, tree, stand and site variables. *Forest Syst* 23(1): 153-166. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2014231-04706>.
- NORMA IRAM 9544, 1973. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales-IRAM 9544. Método de la determinación de la densidad aparente.
- SILVA, F.; HABERLE, T.; MÜLLER, H; MÜNZ, R.; VISENTINI, J. 2019. Normales del clima de la región de Montecarlo. *Actas XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*. - FCF, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina Pg. 526-528. <https://www.jotefa.com/actas#portada>.
- WINCK, R.A.; FASSOLA, H.E.; TOMAZELLO, M.F.; AREA, M.C. 2013: Case Study: Microfibril angle and its relationship with basic density in *Pinus taeda* L. wood from silvopastoral systems. *Revista O Papel*. 745: 55-61. http://www.revistaopapel.org.br/edicoes_impresas/71.pdf.



CARACTERIZACIÓN DE TARUGOS PARA PRODUCCIÓN DE PLACAS DE MADERA LAMINADA URUGUAYA

Gastón BRUZZONE¹, Diego PASSARELLA², Sebastián QUAGLIOTTI³, Laura MOYA⁴

RESUMEN

La madera laminada tarugada (DLT) es un producto de ingeniería de madera para uso en arquitectura que consiste en tablas de madera aserrada unidas por tarugos de madera. El diseño de paneles y placas requiere conocer las propiedades de los materiales constituyentes: tablas y tarugos y el comportamiento de las uniones madera-madera. Este trabajo focalizó en la caracterización mecánica de tarugos con potencial para ser utilizados en placas DLT fabricados con madera de procedencia uruguaya. Para ello fueron preparadas y ensayadas seis series de tarugos, combinando especies y diámetros, de maderas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* y *Balfourodendron riedelianum*. Los ensayos de caracterización incluyeron flexión en 3 puntos, densidad y contenido de humedad. Los resultados mostraron que la madera de *B. riedelianum* presentó la mejor relación resistencia-densidad, seguido por la madera de *E. tereticornis* y luego la de *E. grandis*. La escasa disponibilidad de madera de *B. riedelianum* en el mercado uruguayo, limita su uso para DLT. Sin embargo, la disponibilidad de madera de *Eucalyptus* y los resultados promisorios de este trabajo permiten visualizar el potencial de *E. grandis* y *E. tereticornis* para DLT.

Palabras clave: *madera laminada clavada, DLT, tarugos de madera, caracterización, Eucalyptus grandis, Eucalyptus tereticornis, plantaciones uruguayas*

1. INTRODUCCIÓN

En los países desarrolladores de la tecnología de construcción con madera, la madera y los productos de ingeniería de madera proveniente de plantaciones con certificación forestal, están siendo consumidos intensivamente como materiales estructurales en edificios y puentes. La madera laminada tarugada también conocida como DLT por su acrónimo en inglés, pertenece al grupo de productos de “madera masiva” que tienen la capacidad de secuestrar y almacenar mayor cantidad de CO₂ que los productos tradicionales de madera empleados en la construcción. Se trata de un producto generado a partir de tablas de madera aserrada de longitudes y secciones habituales (generalmente 2” x 4”, 2” x 6”, 2” x 8”) colocadas de canto y unidas mediante tarugos de madera (Fig. 1). El DLT puede emplearse como material estructural para construir entresijos horizontales y techos y para generar muros verticales en edificaciones. Junto con la madera contralaminada son los productos de ingeniería de madera de mayor proyección internacional, ya que su empleo permite la construcción de edificios en altura y contribuye a alcanzar los objetivos del acuerdo de París (UN 2015). Para que el DLT constituido por tablas y tarugos funcione exitosamente, las tablas deben trabajar “solidariamente” unas con otras y por lo tanto el elemento de unión, en este caso el tarugo, cumple un rol relevante. Un aspecto clave en la fabricación del DLT, es la expansión que debe experimentar el tarugo al equilibrarse con el contenido de humedad (CH) de las tablas, al ser colocado como elemento de unión. Por ello, los tarugos suelen fabricarse con maderas de densidades mayores y acondicionarse a CH inferiores, a los respectivos de las tablas. Generalmente los tarugos emplean maderas de latifoliadas (roble, arce) de 500 Kg/m³ de densidad y son acondicionados al 6-8% de CH; mientras que las tablas presentan 16% de CH.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de la República. gaston.bruzzone@gmail.com

² Procesos Industriales de la Madera, Centro Universitario Regional Noreste, Universidad de la República. diego.passarella@cut.edu.uy

³ Departamento de Productos Forestales, LATU. squaglio@latu.org.uy

⁴ Facultad de Arquitectura, Universidad ORT Uruguay. moya@ort.edu.uy

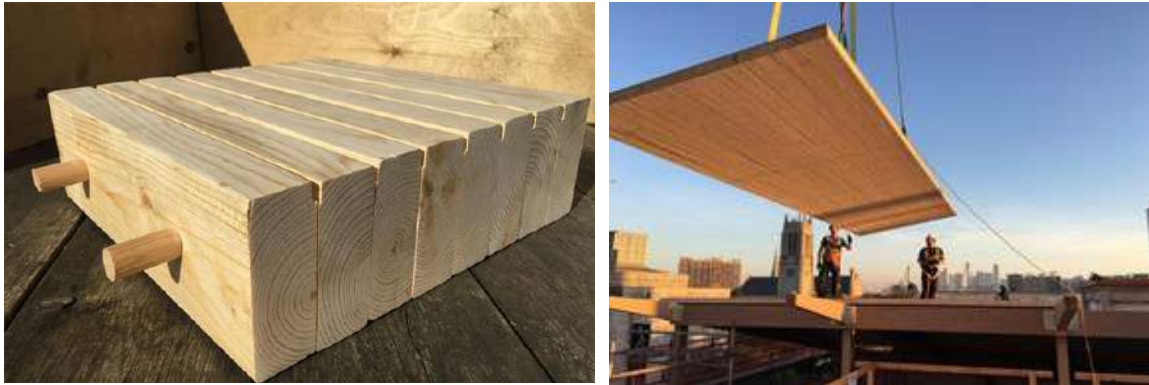


Figura 1. Placa de madera laminada tarugada, DLT (Fuente: StructureCraft)

En Uruguay, la producción de madera con fines industriales procesa principalmente árboles de especies de rápido crecimiento provenientes de plantaciones con manejo forestal sostenible. Vale señalar que más del 80 % de las plantaciones uruguayas cuentan con certificación forestal, FSC y/o PEFC (SPF 2021). La masa forestal destinada a los procesos de primera transformación está compuesta aproximadamente por 80 % del género *Eucalyptus* (*Eucalyptus* spp.) y 20 % del género *Pinus* (*Pinus* spp., URUGUAY XXI, 2021). Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus* difiere entre especies; en particular *Eucalyptus grandis* presenta propiedades mecánicas (resistencia y rigidez de flexión) y densidades notoriamente inferiores a las correspondientes a *Eucalyptus tereticornis*. Trabajos previos reportaron para *E. grandis*, valores medios de módulo de rotura, módulo de elasticidad y densidad de 50 MPa, 11,5 GPa y 0,45-0,56 g/cm³, respectivamente; mientras que para *E. tereticornis* los valores respectivos fueron de 126-155 MPa, 13–17 GPa y 0,82-0,87 g/cm³ (O'Neill et al., 2004; Cueto, 2012; Cardoso et al., 2013).

Adicionalmente, en el mercado uruguayo, es posible encontrar maderas importadas de otras especies, como *Balfourodendron riedelianum*, conocida por su nombre comercial guatambú, cuyas propiedades mecánicas y densidad resultan superiores a las de la madera de las especies de *Eucalyptus* mencionadas anteriormente. Han sido reportados valores de densidades de 0,80–0,84 g/cm³, de módulo de elasticidad de 13–15 GPa y de módulo de rotura de 123 MPa, para madera de *B. riedelianum* (Rivera y Lenton, 1999; Watkins y Salazar, 2012).

El diseño de placas y paneles DLT requiere en una primera etapa, conocer el comportamiento físico y mecánico de los materiales constituyentes, esto es, de las tablas de madera y de los tarugos. Esa información, junto con la generada a partir del comportamiento de una unión madera-madera, representativa, permite en las etapas posteriores, realizar el diseño estructural más favorable de esas placas y paneles DLT, y la consiguiente validación. El objetivo de este trabajo fue caracterizar mecánicamente tarugos de distintas especies de madera y de distintos diámetros mediante ensayos de flexión y densidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado en este estudio provino de dos conjuntos de tablas de dos procedencias y de dos especies en Uruguay. El primero, compuesto por tablas de *Eucalyptus grandis* (38 mm x 89 mm x 2400 mm) secadas en horno, con contenidos de humedad (CH) cercanos al 18 % proveniente de una plantación comercial y aserradero ubicado en el NE del Dpto de Rivera (30°56'05"S 55°34'10"W). Con precipitación media anual de 1639 mm y temperatura media anual de 18,1°C, el rodal pertenece al Grupo CONEAT 7.32, con suelos dominantes del tipo Acrisoles Ócricos Típicos. El segundo, tablas de *Eucalyptus tereticornis* (30 mm x 150 mm x longitud variable) con CH mayores al PSF procedentes de un monte ubicado la Estación experimental de Bañados de Medina de la Universidad de la República, en el centro E del Dpto de Cerro Largo (32°21'53"S 54°26'13"W). Con precipitación media anual de 1200 mm y temperatura media anual de 18 °C, el rodal se encuentra en el Grupo CONEAT 8.5, con suelos dominantes del tipo Luvisoles Melánicos Albicos. Previo al maquinado, las tablas de *E. tereticornis* fueron trasladadas al Dpto de Productos Forestales del LATU donde fueron secadas en horno convencional controlando temperatura y humedad relativa del aire y siguiendo una agenda típica de secado para impedir deformaciones y grietas excesivas, hasta alcanzar un CH aproximado de 16 %-18 %.



Cuadro 1. Resumen de materiales ensayados

Especie	Diámetros			
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	20	--	--	12
<i>Eucalyptus grandis</i>	20	18	--	--
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	--	18	15	--

Posteriormente, todas las tablas fueron cortadas longitudinalmente para generar escuadrías de 25 mm x 25 mm de sección transversal y luego maquinadas en un torno con el fin de producir varillas de sección circular, de 15 mm y 18 mm de diámetro y 1 m de longitud. Adicionalmente, y a efectos comparativos se incluyeron varillas suministradas por un proveedor local, de *E. grandis* de 20 mm de diámetro y de *B. riedelianum* de 20 mm y 12 mm de diámetro. Las varillas fueron cortadas para producir seis muestras de tarugos de 200 mm de longitud. La longitud fue definida a partir del criterio propuesto por Bell (2018) que sugiere cumplir con la relación luz de ensayo igual a 9 veces el diámetro. Cada muestra compuesta por al menos 20 cuerpos de prueba, tal como se indica en el Cuadro 1. Todas los tarugos fueron colocados en cámara climatizada (20 °C y 65 % HR) hasta alcanzar 12 % de CH, para luego ser ensayados en el Laboratorio del Grupo de Procesos Industriales de la Madera de la Sede Tacuarembó del Centro Universitario Regional Noreste, de la Universidad de la República. Los ensayos de flexión estática en 3 puntos se realizaron hasta la rotura, en máquina universal (Shimadzu AGS-100), con una celda de carga de 100kN, y a una velocidad de 1,5 mm/min, siguiendo el procedimiento establecido en (Bell, 2018). De los ensayos se obtuvieron registros de carga aplicada y desplazamiento de cabezal hasta rotura. La aplicación de carga en el punto medio de la longitud del tarugo fue realizada a través de un dispositivo especialmente mecanizado para este ensayo, en el cual la clavija es constreñida en una placa de 10 mm de espesor (ver Fig. 2). El dispositivo posee orificios fijos de 20, 16 y 12 mm de diámetro (+0,5 mm / -0,0 mm). El modo de aplicación de carga, promueve el desarrollo de tensiones normales a la sección transversal del tarugo, debidas a la flexión, y tensiones de corte, debidas a la combinación del modo de carga en tres puntos y el dispositivo de aplicación de carga. La distancia entre apoyos fue tal que para todas las medidas de tarugo se mantuvo una relación constante de $l = 3*d+10$, por lo que el brazo de palanca resulta 1,5 veces el diámetro desde la cara exterior del accesorio central hasta el punto de apoyo lateral. Se tuvo especial precaución en la colocación del tarugo sobre el dispositivo de ensayo, procurando que la carga fuera aplicada en dirección radial. Esta orientación es la menos favorable para este tipo de carga aplicada (Jockwer et al., 2018). Debido a la geometría de los tarugos, no se pudo diferenciar si la orientación fue hacia la fibra traccionada o hacia la comprimida. La configuración del ensayo se muestra en la Fig. 2.



Figura 2. Ensayo de flexión en 3 puntos de tarugos

Para cada tarugo, se obtuvo la tensión normal de flexión (σ_f) y la tensión tangencial de corte (τ_v), de acuerdo a las ecuaciones (1) y (2), respectivamente. La relación l/d adoptada, garantizó que la tensión cortante desarrollada fuera nueve veces menor a la tensión normal correspondiente.



$$\sigma_f = \frac{8 \times P \times l}{\pi \times d^3} \quad (1)$$

$$\tau_v = \frac{8 \times P}{3 \times \pi \times d^3} \quad (2)$$

donde: P es la carga máxima (kN), l es la luz de ensayo (mm) y d es el diámetro (mm) del tarugo

Luego de finalizado el ensayo se determinó la densidad (normal y anhidra) y el contenido de humedad de cada tarugo, de acuerdo a las normas ISO 3131 (ISO 1975) e ISO 3130 (ISO 1975).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resumen de los resultados de los ensayos de flexión y densidad se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de caracterización de tarugos. Valores medios y desvíos estándar

Parámetro \ Especie	Guatambú		<i>E. grandis</i>		<i>E. tereticornis</i>	
Diámetro [mm]	20	12	20	18	18	15
n	22	20	22	24	22	23
Carga Máxima [kN]	7,56 (1,09)	3,29 (0,29)	4,65 (0,57)	2,97 (0,44)	6,58 (0,54)	4,17 (0,45)
Tensión normal [N/mm ²]	168 (24)	223 (20)	104 (13)	83 (12)	184 (15)	173 (19)
Tensión tangencial [N/mm ²]	16,0 (2,3)	19,4 (1,7)	9,9 (1,2)	7,8 (1,2)	17,3 (1,4)	15,7 (1,7)
Densidad normal [g/cm ³]	0,83 (0,4)	0,87 (0,2)	0,58 (0,5)	0,49 (0,5)	0,99 (0,02)	1,03 (0,03)
Densidad anhidra [g/cm ³]	0,74 (0,3)	0,77 (0,2)	0,52 (0,5)	0,43 (0,4)	0,88 (0,02)	0,91 (0,03)
Contenido de humedad (%)	11,9 (0,8)	12,1 (0,2)	11,3 (0,8)	12,4 (0,4)	13,7 (0,2)	12,9 (0,5)

En todos los casos, el modo de falla de los tarugos fue por desgarramiento en la fibra traccionada más alejada con respecto al plano neutro. Resulta interesante mencionar que si bien en cada combinación de especie y geometría ensayados no se presentaron correlaciones significativas entre la densidad y la resistencia mecánica, en conjunto, todos los tarugos sí lo hicieron. Los resultados de los ensayos mecánicos y de densidad son consistentes con los reportados por Bell (2018). En particular, los tarugos de 20 mm de diámetro, de guatambú y de *E. grandis*, presentaron valores similares de carga máxima y densidad que los tarugos de 20 mm de diámetro de madera de haya (7,69 kN, 753 Kg/m³) y de arce blanco (4,57 kN, 547 kg/m³), respectivamente. La tensión máxima normal en función de la densidad al 12 % de todos los ensayos se presenta en la Fig. 3 donde se observa cómo la tensión máxima aumenta con la densidad del tarugo, para los tarugos de *E. grandis* y *B. riedelianum*. Los tarugos de *E. tereticornis* no presentan esta tendencia posiblemente por fisuración por colapso durante el secado natural de la troza realizado en época estival.

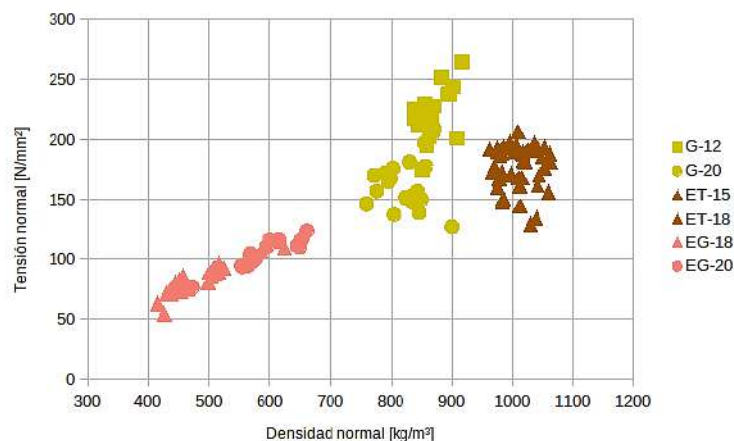


Figura 3. Relación entre la densidad al 12 % y la máxima tensión normal resistida por los tarugos.



4. CONCLUSIONES

Un primer conjunto de elementos de madera con potencial para ser empleados como tarugos en paneles DLT fue caracterizado mediante ensayos de densidad y de flexión. Los resultados de los tarugos de madera de *B. riedelianum* mostraron la mejor relación resistencia-densidad, pero su escasa disponibilidad en el mercado uruguayo, limita su uso en aplicaciones para elementos estructurales. Por su parte, los resultados de los tarugos de *E. tereticornis* presentaron valores elevados de resistencia, aunque con una gran dispersión de datos, probablemente debido a defectos relacionados con el su procesamiento. Finalmente los tarugos de *E. grandis* presentaron valores de densidad y resistencias menores, a los de las otras especies, no obstante dichos valores son similares a los reportados en la literatura. Sin embargo, debido a la disponibilidad de esta especie, pueden ser considerados como una opción válida para ser utilizados en DLT fabricado con tablas de maderas con valores de densidades inferiores, tales como el pino cultivado en Uruguay. Los resultados de este trabajo permiten sentar las bases para el diseño más adecuado, la posterior fabricación y validación estructural de prototipos, y así brindar el respaldo técnico y científico para el desarrollo de placas y paneles DLT a partir de maderas y tecnología de producción uruguayas.

5. AGRADECIMIENTO. Los autores agradecen al Ing. Agr. Carlos Mantero por la madera de *E. tereticornis*.

6. LITERATURA CITADA

- BELL, T. A. 2018. A detailed investigation into the engineering properties and challenges affecting the potential introduction of a UK grown dowel-laminated timber floor panel into the domestic construction market. Doctoral dissertation, University of Strathclyde. 309 p.
- CARDOSO, A.; CAGNO, M.; CÁRDENAS, P.; GATTO, F. 2013. Contracción, hinchamiento y peso específico aparente de madera de eucalipto colorado (*Eucalyptus tereticornis* Smith). Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Montevideo, Uruguay. 12 p. [Disponible en https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTECH/article/view/234/pdf_1](https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTECH/article/view/234/pdf_1)
- CUETO, G. 2012. Influencia del raleo sobre la productividad y calidad de la madera en *Eucalyptus grandis*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 59 p. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1849/1/0090cue.pdf>
- ISO 3130. 1975. Wood. Determination of moisture content for physical and mechanical tests.
- ISO 3131. 1975. Wood, Determination of density for physical and mechanical test.
- JOCKWER., R; WIEHLE, P; PALMA, P; KLIPPEL, M; WAPP, A; FRANGI, A; HEBEL, D. 2018. Structural behavior and design of timber connections with dowels and slotted-in plates made of bamboo composite. 2018 World Conference on Timber Engineering. 20 al 23 de agosto de 2018, Seúl, República de Corea.
- NACIONES UNIDAS. 2015. Convención Marco sobre el Cambio Climático. acuerdo de París. Francia. 40 p. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>
- O'Neill, H; Tarigo, F.; Iraola, P. 2005. Propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* H. del Norte de Uruguay. Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). 45 p. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=558
- RIVERA, S. M.; LENTON, M. S. 1999. La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas Argentinas. Quebracho. Argentina. no. 7: 72-78. https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q7_12.pdf
- SOCIEDAD DE PRODUCTORES FORESTALES. 2021. Boletín de la SPF de Uruguay. <http://www.spf.com.uy>
- URUGUAY XXI. 2021. Sector forestal en Uruguay. Montevideo, Uruguay. 49 p. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/a29771e03cc49e42fe516c01b0d271dc0fcf4cbe.pdf>
- WATKINS, SALAZAR, .2012. Diseño, construcción y ensayo de un secadero solar para madera. ASADES. Argentina. Vol. 16: 7 p <https://docplayer.es/4235254-Diseno-construccion-y-ensayo-de-un-secadero-solar-para-madera.html>



SECADO NATURAL DE LEÑA UTILIZADA PARA ENERGÍA: INFLUENCIA DE COBERTURA Y TIEMPO DE SECADO

Daniele BERNARDY¹, Débora Luana PASA², Matheus Morais ZIEMBOWICZ³, Samara LAZAROTTO⁴, Jorge Antonio de FARIAS⁵

RESUMEN

En Brasil, especialmente en el estado de Rio Grande do Sul, existe una demanda considerable de leña para generar energía utilizada en el secado de diversos productos agrícolas, entre ellos la soja, el maíz y el tabaco. Por tanto, es necesario que se produzca un secado eficiente, para reducir el consumo de leña y el coste del proceso, además de ayudar a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Un factor determinante para una mayor eficiencia en la generación de energía es la humedad en la leña. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la curva de secado natural de *Eucalyptus dunnii*, *E. grandis* y *E. saligna*, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de cobertura de pilas de leña. Como resultado principal podemos observar que no hubo diferencia significativa entre especies y entre pilas con y sin cobertura, considerando el secado en temporadas cálidas (noviembre a mayo). El contenido de humedad de equilibrio se mantuvo entre 18,65 % y 22,98 % para las tres especies forestales estudiadas (*E. dunnii*, *E. grandis* y *E. saligna*).

Palabras clave: *tabaco, energía, contenido de humedad*

RESUMO

No Brasil, em especial no estado do Rio Grande do Sul, há uma demanda considerável de lenha para geração de energia utilizada na secagem de diversos produtos agrícolas, entre eles soja, milho e tabaco. Dessa forma, é necessário que ocorra uma secagem eficiente, para diminuir o consumo de lenha e o custo do processo, bem como auxiliando para a diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Um fato determinante para o aumento da eficiência na geração de energia é a umidade da lenha. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a curva de secagem natural de *Eucalyptus dunnii*, *E. grandis* e o *E. saligna*, levando em consideração a presença ou não de cobertura da pilha de lenha. Como principal resultado podemos observar que não houve diferença significativa entre as espécies e entre as pilhas com e sem cobertura, considerando a secagem em épocas quentes (novembro à maio). A umidade de equilíbrio permaneceu entre 18,65 % e 22,98 % para as três espécies florestais estudadas (*E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*).

Palavras-chave: *secagem da lenha, energia, teor de umidade*

1. INTRODUÇÃO

O interesse em encontrar alternativas que possam viabilizar ou reduzir o uso de combustíveis fósseis como principal meio energético vem crescendo consideravelmente nos últimos anos. Diante disto, o

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. Contato: danibernardy@hotmail.com/telefone 51 99643-9542.

² Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. Contato: debora.pasa@gmail.com/telefone 51 99839-9230.

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. Contato: mmziembowicz@hotmail.com /telefone 55 99157-8583

⁴ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. Contato: samaralazaroto@gmail.com/telefone 49 8823-0338

⁵ Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Contato: fariasufsm@gmail.com/telefone 51 9997-1597.



uso de biomassa de origem florestal tem papel importante e se tornou muito valorizado, se constituindo como uma solução de fonte renovável de energia (SIMIONI et al., 2017).

Segundo as estimativas da AFUBRA (Associação dos Fumicultores de Brasil) o setor de fusicultura consumiu no ano de 2019 um total de 8.155.000 metros estéreos (mst) de lenha, o Rio Grande do Sul apresenta um percentual de 51,50 % deste total, sendo assim utilizou 4,2 milhões de metros estéreos (mst) de lenha, proveniente de cerca de 16,8 mil hectares de florestas (AGEFLOR, 2020).

Levando em consideração os plantios florestais no Brasil, a principal espécie utilizada para a produção de lenha é o eucalipto (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016), onde as principais regiões produtoras desta espécie são o sul e sudeste (SANTANA et al., 2008).

A eficiência do uso de lenha para a geração de energia depende de muitos fatores, entre eles a umidade. A umidade influencia diretamente no desempenho do processo de combustão, impactando na quantidade de biomassa utilizada e também nas emissões de gases poluentes, ou seja, quanto mais úmida a lenha, maior será a quantidade de biomassa utilizada para a geração de uma determinada quantidade de energia, bem como maior será o impacto ao meio ambiente, intensificando as emissões de gases de efeito estufa. Ambos os efeitos negativos estão vinculados a um processo incompleto de combustão.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi verificar a secagem natural da lenha de três espécies de *Eucalyptus*, correlacionando principalmente o tempo de secagem e o teor de umidade nas pilhas cobertas e não cobertas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material vegetal

As espécies utilizadas no experimento foram *Eucalyptus dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*. O corte destas árvores ocorreu no dia 11 de novembro de 2019, oriundas de plantios de sete anos de idade.

2.2. Procedimento metodológico

Os toretes de *Eucalyptus* sp foram alocados em área plana, com condições ideais de exposição solar, ou seja, que apresentasse períodos de sol na parte da manhã e tarde, sem sombras.

Após a colheita, foram colocadas em pilhas de forma aleatória (Figura 1), onde permaneceram sem cobertura até os 90 dias para a análise de umidade. Após 90 dias, uma das pilhas de cada uma das espécies foi coberta com uma lona para determinar se ocorria diferença na curva de secagem da lenha (Figura 2). Definiu-se 90 dias, visto que nos três primeiros meses a lenha possui tendência de liberar água de forma mais rápida. Após essa fase inicial, a cobertura pode auxiliar na diminuição da influência de fatores externos na umidade da lenha.

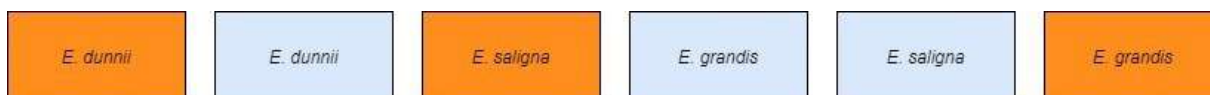


Figura 1. Croqui da disposição das pilhas para secagem para lenha. A cor laranja determina as pilhas cobertas com lona após 90 dias.



Figura 2. Demonstração do experimento a campo em (A) pilhas de lenha sem cobertura e (B) pilhas de lenha com cobertura após 90 dias.



Utilizou-se paletes de madeira como piso para que as lenhas não tivessem contato direto com a umidade da superfície.

Para verificar o teor de umidade, foram selecionados três discos centrais de cada pilha aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o corte. De acordo com Moreschi (2012), o teor de umidade de uma madeira é dado pela relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em porcentagem, podendo ser calculado em base seca ou em base úmida (Equação 1). O teor de umidade foi definido a partir da pesagem das amostras com teor de umidade até então desconhecido (P_u), anotando-se o seu peso. Em seguida, as amostras foram levadas à estufa, a $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até sua secagem completa.

$$Tu (\%) = \frac{(P_u - P_o)}{P_u} * 100 \quad (1)$$

Em que: TU = Teor de umidade da madeira, em porcentagem; P_u = peso da madeira úmida; e P_o = peso da madeira seca a $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, ou seja, a 0% de umidade.

Após o término da determinação do teor de umidade, calculou-se a taxa de secagem, conforme a Equação 2.

$$Ts = \frac{\Delta \text{massa de água}}{\Delta t} \quad (2)$$

Em que: ts = taxa de secagem (%/dia); Δ massa água = variação da massa de água (g) e Δt = variação de tempo (dias).

2.3. Estatística

Primeiramente os dados foram submetidos a teste de normalidade dos resíduos, por meio do teste Shapiro-wilk a 5% de probabilidade de erro. Posteriormente, foram realizados testes de correlação, entre a umidade e diâmetro da lenha e umidade relacionada ao tempo de secagem, por meio da correlação de Pearson. Finalmente os dados foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) a um nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 é possível verificar os resultados de umidade obtidos ao longo de 180 dias da análise, comparando a pilha com cobertura e sem cobertura, para cada uma das espécies (*E. dunnii*, *E. saligna* e *E. grandis*).

Tabela 1. Teor de umidade das espécies florestais analisadas, considerando as pilhas com cobertura e sem cobertura

DIAS	Umidade (%)					
	<i>E. dunnii</i>		<i>E. saligna</i>		<i>E. grandis</i>	
	C	NC	C	NC	C	NC
30	36,03	39,41	38,72	37,85	43,19	39,38
60	24,62	29,86	24,98	24,67	26,52	38,19
90	22,62	27,99	24,83	24,05	24,65	26,49
120	21,65	21,71	18,85	23,65	24,19	22,63
150	20,95	19,94	19,65	20,56	19,90	20,50
180	20,02	18,65	20,70	22,98	21,82	19,63

Sendo: C (coberto); NC (não coberto).

Por meio da ANOVA foi possível determinar que não houve diferença significativa a 5 % de probabilidade de erro e os dados apresentaram normalidade dos resíduos. No entanto, a partir dos resultados obtidos, podemos observar na tabela 1, que houve redução da umidade em maior intensidade nos três primeiros meses após o corte da lenha.



Em relação às pilhas com e sem cobertura, destaca-se que as pilhas de lenha com cobertura não alcançaram menores teores de umidade ao fim do período de avaliação de 180 dias. No entanto, mesmo não havendo diferenças significativas na umidade da lenha em relação a cobertura, evidencia-se que a mesma oferece uma proteção que garante que a lenha permaneça com a umidade sem muitas oscilações, mesmo com fatores ambientais existentes como o temperatura, pluviosidade e umidade do ar, conforme também discutido e afirmado por Pizzol 2010, que constataram que a lenha com cobertura apresentou maior taxa de secagem.

Evidencia-se também que a coleta dos discos foi realizada uma vez ao mês, sempre no mesmo dia, para análise da umidade, dessa forma, para determinar da melhor maneira a influência da cobertura em relação à umidade da lenha, acredita-se que seja necessária uma maior frequência de coleta.

Já em relação ao tempo de secagem x umidade, podemos observar que houve correlação, neste caso negativa, pois variou de - 0,75 a - 0,95 sem cobertura e com cobertura variou entre - 0,80 a - 0,82, devido que quanto mais dias menor foi a umidade.

Nesse mesmo contexto, analisou-se a taxa de secagem em relação ao diâmetro dos toretes e variação de umidade dos 30 aos 180 dias, conforme observado na tabela 2.

Tabela 2. Dados informativos referentes a secagem dos toretes

DIAS	<i>E. dunnii</i>		<i>E. saligna</i>		<i>E. grandis</i>	
	C	NC	C	NC	C	NC
Taxa de secagem (%/dia)	0,111	0,104	0,115	0,128	0,121	0,109
Diâmetro(cm)	14,35	13,00	13,67	13,40	13,82	13,95
Varição da umidade (%)	16,01	20,76	18,02	19,75	14,87	21,37

Sendo: C (coberto); NC (não coberto).

A partir da análise de correlação de Pearson, foi possível observar que não ocorreu correlação entre a umidade e o diâmetro da lenha pois o resultado foi de $r = 0,02$; possivelmente porque os valores dos diâmetros foram bastante uniformes, como pode ser observado na Tabela 02.

Após o ponto de saturação das fibras (PSF) a madeira continua ainda o processo de secagem, mas de uma forma mais lenta, visto que a água livre já evaporou. Assim, abaixo do PSF, evidencia-se o processo de umidade de equilíbrio da madeira, ou seja, para determinadas condições meteorológicas do local de secagem, a madeira irá apresentar uma umidade específica, e a partir dela, não haverá oscilações significativas (Moreschi, 2014). Para o experimento em questão, a umidade de equilíbrio permaneceu entre 18,65% e 22,98% para as três espécies florestais estudadas (*Eucalyptus dunnii*, *grandis* e *saligna*).

De acordo com Foelkel (2016), quanto maior o teor de umidade, maior será a perda de energia da biomassa. É por essa razão a prática de se deixar esse material secando no campo, tanto para redução de seu peso a transportar, como para aumentar o seu valor de Poder Calorífico Útil.

4. CONCLUSÃO

- Não houve diferença significativa das pilhas cobertas e não cobertas para o período e local de análise.
- Ocorreu correlação negativa entre a umidade da lenha e o tempo de secagem
- Não ocorreu correlação entre o diâmetro da lenha e o teor de umidade, visto que a variação de ambas as variáveis foi muito pequena.
- Mesmo não apresentando variação significativa, aconselhasse a cobertura da lenha, sendo que esta pode ser realizada 90 dias após o corte, visto que nos primeiros meses a liberação de de água livre é mais rápida.



5. REFERENCIAS

- AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. 2020 O setor de base florestal no rio grande do sul 2020, ano base 2019. Rio Grande do Sul. p. 7 a 38.
- COUTO, L. C., BARCELLOS, D. C. 2011. As relações água-madeira e sua influência nas suas propriedades físicas. *Biomassa & Energia*. Viçosa-MG. v. 4, n. 2. p. 173-190,
- DENIG, J.; WENGERT, E. M.; SIMPSON, W. T. 2000. Drying hardwood lumber. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-118. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 138 p.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. 2016. Relatório anual 2016. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.
- LOPES, R. P.; OLIVEIRA FILHO, D.; DONZELES, S. M. L.; FERREIRA, W. P. M. 2020. "Controle da combustão em fomalhas a lenha." *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*.
- MORESCHI, J. C. 2012. Propriedades da Madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Curitiba. 1ª. ed., fev/ 2005; 4ª edição: nov/ 2012.
- PIZZOL, V. D. 2010. SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* SOB DOIS AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO. Monografia. Jerônimo Monteiro ES. p. 30.
- REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. R.; FARIA, A. L. R. 2010. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras MG. *CERNE*. v. 16. p. 41-47.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. 2008. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. *Revista Árvore*. Viçosa, MG. v. 32, n. 4. p. 697-706.
- SIMIONI, F. J.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; FACHINELLO, A. L.; BUSCHINELLI, C. C. A.; MATSUURA, M. I. S. F. 2017. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. *Ciência Florestal*. Santa Maria-RS. v. 27, n. 2, p. 731-742.
- VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; VALENTE, O. F. 1985. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. *Revista Árvore* 9 (1), p. 10-27.



BIOCARBONES Y COPRODUCTOS POR PIRÓLISIS EN ESPECIES Y CLONES DE *Eucalyptus*: PRIMEROS RESULTADOS

Andrés CASONI¹, María A. VOLPE¹, Alberto ACEVEDO², Pablo MARINANGELI³, Javier OBERSCHELP⁴, Leonel HARRAND⁴, Javier GYENGE⁵, Leonardo SAELLESES⁶, Ana María LUPI²

RESUMEN

A pesar del uso actual de biomasa para la producción de biocarbón y otros productos originados a partir del tratamiento térmico, a nivel local existe un vacío del conocimiento sobre la estructura y composición de los mismos según el material de origen (especies y genotipos de *Eucalyptus*). Esta información es crucial ya que tendrá un impacto inmediato sobre la calidad y aplicabilidad del material producido. El objetivo de este trabajo fue determinar el rendimiento de muestras de madera a biocarbón, líquido de pirólisis y gas de pirólisis de seis especies y cinco clones de eucalipto. También se determinó el poder calorífico de muestras seleccionadas de biocarbones y la composición química del coproducto licor de pirólisis. Las especies y clones de eucalipto evaluadas pueden ser empleadas como materia prima en procesos de pirólisis rápida para la obtención de productos de valor agregado. Así, bajo las condiciones de trabajo establecidas, es posible obtener biocarbón con un rendimiento superior al 30 % para todos los casos y furfural con un rendimiento un tanto inferior al 20 % si se llevan a cabo tratamientos del aserrín de las maderas con ácidos minerales.

Palabras claves: *residuos forestales, biochar, eucalipto, pirolisis*

1. INTRODUCCION

Muchos investigadores están en la continua búsqueda para el desarrollo de bioproductos innovadores, que pueden contribuir a cuestiones medioambientales, energéticas, entre otros aspectos. Se han desarrollado nuevas tecnologías con el objetivo de transformar la biomasa y los materiales de desecho en productos de mayor valor agregado. El uso de biomasa para la producción de biocarbón ya es una realidad en muchos países (Veiga et al., 2017). El biocarbón o biochar es un producto que se puede obtener de cualquier tipo de biomasa y que se diferencia del carbón vegetal en que tiene aplicaciones de acondicionador del suelo y de almacenamiento de carbono (Verheijen et al., 2009). Es un producto sólido que se obtiene a partir de pirólisis de biomasa bajo una atmósfera inerte, a partir de materiales de diversos orígenes como los residuos agrícolas, forestales, desechos animales, lodos, entre otros (Huangping et al., 2015; Zheng et al., 2016, He et al., 2017). Se emplea para el secuestro de carbono, la retención de nutrientes minerales, ajustar el pH del suelo, fijar y estabilizar las sustancias contaminantes, aumentar el intercambio iónico del suelo y su capacidad de adsorción, mejorando así la fertilidad (Singh et al., 2010, Liang et al 2014; Uchimiya et al., 2015).

La pirólisis rápida es la tecnología que se emplea para producir biocarbón siendo alguna de sus características la alta velocidad de reacción, alta eficiencia, bajas emisiones en entornos con deficiencia de oxígeno, flexibilidad a las propiedades del combustible y la facilidad de control (Hedong et al., 2017).

¹Planta Piloto de Ingeniería Química, UNS/CONICET, Camino Carrindanga km 7, 8000 Bahía Blanca.

²Centro de Investigación de Recursos Naturales, INTA Los Reseros y Las Cabañas s/n, 1712 Castelar.

³ Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida, CERZOS, Camino Carrindanga km 7, 8000 Bahía Blanca.

⁴ EEA Concordia INTA, Estación Yuquerí, Ruta Provincial 22 y vías del Ferrocarril, CP3200, Concordia, Entre Ríos.

⁵ Investigador CONICET. UEDD INTA CONICET Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible. LIA Forestia (INTA-Argentina, INRAE-Francia).

⁶ EEA Balcarce – INTA

Mail de contacto: lupi.ana@inta.gob.ar



La pirólisis rápida de biomasa puede contribuir a la mitigación del calentamiento global estabilizando parte del carbono de la biomasa en forma de carbón y producción de biocombustible como alternativa al uso de combustibles fósiles en la producción de energía (Herath et al., 2013).

Las propiedades del biocarbón dependen de la materia prima utilizada (origen del residuo y material en general, especie, genotipo) y de las condiciones experimentales de la pirólisis, de conversión, incluida la temperatura, la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, entre otros (Zhang et al., 2013). Estos factores influyen en las propiedades fisicoquímicas del biocarbón generado, como lo son el área superficial específica, la porosidad, el porcentaje de carbono fijo y volátil, la capacidad de intercambio iónico y su composición elemental que son determinantes en la capacidad de secuestrar C y en los beneficios agrícolas, tales como: retención de agua, fijación de nutrientes e inmovilización de contaminantes (Uchimiya et al., 2015). Investigaciones previas realizadas sobre material leñoso de *Eucalyptus* indicaron que la pirólisis rápida permite producir biocarbón con una amplia gama de propiedades fisicoquímicas, lo que abre su uso en diversas actividades agrícolas y ambientales (Chaves Fernandes et al., 2020). En Argentina, es escaso el conocimiento sobre el biochar de base forestal, cuál sería la materia prima más adecuada para la elaboración, su estructura y composición. Frente a la posible variabilidad en la eficiencia del producto se propuso como objetivo determinar el rendimiento de muestras de madera a biocarbón, líquido de pirólisis y gas de pirólisis de seis especies y cinco clones de *Eucalyptus*. Además, se determinó el poder calorífico de algunas muestras seleccionadas de biocarbones y la composición química del coproducto licor de pirólisis de muestras seleccionadas.

2. MATERIALES Y METODOS

Especies y genotipos: se emplearon muestras de madera provenientes de ensayos de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. benthamii*, *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. tereticornis*, *E. grandis*, *E. globulus*, clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 27, GC INTA 8, GC INTA 24 y clones de *E. grandis* EG INTA 157, EG INTA 36 (Tabla 1). De manera comparativa, se analizaron los resultados en conjunto con resultados correspondientes a residuos de poda municipal compuestos por ramas y follaje de diversas especies (fresnos y acacias principalmente).

Pirólisis rápida: Las muestras de aserrín de los distintos materiales genéticos colectados (5 g) se llevaron a un horno de pirólisis a una temperatura de 500 °C y con un flujo de nitrógeno de 200 mL/min durante un lapso de 10 minutos, momento en el que no se produjeron más vapores. Los vapores pasan a través de un filtro poroso y los líquidos condensables son retenidos en el recipiente recolector, mientras que los gases permanentes escapan. El biocarbón se recolecta una vez enfriado el sistema. Se determinaron las masas del biocarbón y del líquido (condensables) y por diferencia se calculó la masa de gases producidos. A partir de estos valores y del peso original de la muestra se estimaron los rendimientos. Los biolíquidos recolectados a la salida del pirolizador se analizaron mediante cromatografía gaseosa acoplada a detección por masas, en un equipo Perkin Elmer Clarus 500. Para el caso de *E. grandis*, se llevó a cabo un pretratamiento con ácido sulfúrico (10 % p/p) del aserrín correspondiente, previo a la pirólisis. El objetivo de este tratamiento es transformar la biomasa para obtener un biolíquido de composición menos compleja. Para ello se sumergió el aserrín en la solución de ácido por 24 h. Luego se procedió al secado al aire y finalmente se llevó a cabo una pirólisis. Se determinó el rendimiento a biocarbón y se analizó el biolíquido correspondiente cuanti y cualitativamente.

Composición de las muestras de madera

Caracterización cuanti y cualitativa de la lignina

Se analizó la composición del biolíquido derivado de la pirólisis de la lignina mediante cromatografía gaseosa, acoplada a detección por masas, en un equipo Perkin Elmer Claurus. A partir de la relación de áreas entre los diferentes compuestos derivados de los monómeros se determinó la relación siringol/guayacol (S/G) que corresponde a la relación entre las áreas de picos correspondientes a los compuestos derivados de S y los de G respectivamente. A mayor valor de la relación S/G, la madera



se degrada con mayor facilidad, siendo la lignina correspondiente menos resistente al ataque químico o enzimático. Se aclara que no se emplearon patrones cromatográficos y se consideró que la relación de áreas de los picos es representativa de la relación de las respectivas concentraciones. Esta aproximación se considera correcta ya que la respuesta de los diferentes monómeros frente al detector es similar. La cuantificación de la lignina se llevó a cabo mediante una técnica extractiva desarrollada en el laboratorio propio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se reportan los resultados correspondientes a los rendimientos a biocarbón de las muestras. Para los casos de los líquidos del pirólisis de *E. dunnii* y *E. grandis* se reportan los resultados de su composición, según análisis por cromatografía gaseosa.

Los rendimientos a biocarbón son relativamente altos para todos los casos (Tabla 1). Los menores se obtuvieron con *E. globulus* y el clon CG INTA 8, que se corresponden con valores bajos e intermedios de lignina (Tabla 1). Sin embargo, no se encontró una relación entre ambas variables al comparar todos los materiales bajo estudio.

Tabla 1. Rendimiento a biocarbón de pirólisis rápida y lignina para los materiales genéticos evaluados.

<i>Materiales genéticos</i>	Edad (años)	Sitio	Rendimiento a biocarbón (%p/p)	Lignina (%p/p base seca)
<i>E. benthamii</i>	13	Concordia, ER	43	21,2
<i>E. camaldulensis</i>	13	Concordia, ER	41	22,3
<i>E. dunnii</i>	13	Concordia, ER	43	21,5
<i>E. globulus</i>	26	Balcarce, BA	39	21,3
<i>E. grandis</i>	13	Concordia, ER	44	21,9
<i>E. saligna</i>	13	Concordia, ER	44	20,3
<i>E. tereticornis</i>	16	Concordia, ER	42	22,2
EG INTA 157 (clon EG)	7	Alem, Misiones	43	20,7
EG INTA 36 (clon EG)	7	Alem, Misiones	43	21,0
GC INTA 24 (clon GC)	7	Alem, Misiones	44	21,3
GC INTA 27 (clon GC)	7	Alem, Misiones	40	22,1
GC INTA 8 (clon GC)	7	Alem, Misiones	39	20,3

EG= *E. grandis*; GC= *E. grandis* x *E. camaldulensis*; ER= Entre Ríos; BA= Buenos Aires

La concentración de carbono es una información importante de la calidad de la biomasa, ya que es la parte más resistente que permanece en el biocarbón después de la pirólisis. Se produce una transformación de las estructuras carbonadas organizándolas en cadenas aromáticas y se relaciona inversamente con los materiales volátiles y el contenido de cenizas, lo que explica su mayor contenido en *E. globulus* (dato no mostrado). El contenido de carbono y lignina son los componentes más importantes para la estabilidad térmica, que reflejan directamente en permanencia del biocarbón en el suelo (Veiga et al., 2017).

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 2 y al analizar los parámetros de la European Biochar Certificate (<https://www.european-biochar.org/en>), el biocarbón de todas las especies cumple con los requisitos para certificar el producto (C% > 50, H/C ratio < 0,7 y O/C ratio < 0,4). La relación H/C indica el índice de aromaticidad en tanto que la relación O/C, el índice de hidrofobicidad. Cuando las relaciones H/C y O/C decrecen, como sucede en el biocarbón de todas las especies, significa que el material es más



resistente a la degradación. Estos datos reflejan la modificación de la estructura orgánica debida a reacciones de carbonización de la biomasa con la temperatura, generando un C más estable.

Tabla 2. Análisis elemental y Poder Calorífico Superior (cálculo teórico a partir de análisis elemental) para maderas y correspondientes biocarbones *E. grandis*, *E. globulus* y *E. dunnii*.

Especies	Material	%C	%H	%O	%N	H/C	O/C	PCS (MJ/kg)
<i>E. grandis</i>	Madera	49,21	5,98	44,19	0,62	0,12	0,89	17,36
	Biocarbón	76,11	3,08	19,33	1,48	0,04	0,25	30,02
<i>E. globulus</i>	Madera	48,76	6,01	44,80	0,43	0,12	0,92	17,92
	Biocarbón	78,77	1,25	19,12	0,86	0,02	0,24	30,13
<i>E. dunnii</i>	Madera	49,42	6,02	44,23	0,62	0,12	0,89	17,83
	Biocarbón	77,04	3,01	19,11	0,84	0,04	0,25	30,10

C, carbono elemental; H, hidrógeno elemental; O, oxígeno elemental; N, nitrógeno; H/C, índice de aromaticidad; (O/C), índice de hidrofobicidad. Poder calorífico superior (PCS) según Hosokai et al. (2019).

Para todos los casos el biolíquido de pirólisis resultó con un pH en el rango 3-4, siendo inestable al almacenamiento dado que al poco tiempo de recolectado se observa la separación en una fase sólida (alquitrán), principalmente debido al conocido fenómeno de repolimerización de las unidades de lignina.

El análisis cromatográfico de los biolíquidos indicó que son una mezcla compleja de numerosos (más de cien) compuestos oxigenados. Entre los compuestos detectados figuran: ácido acético, furanos, azúcares, metoxifenoles, aldehídos y cetonas de cadena corta, ácidos carboxílicos. La complejidad e inestabilidad del biolíquido fue similar en los casos estudiados (*E. grandis*, *E. globulus*, *E. dunnii*).

La complejidad química de los biolíquidos es una característica negativa que impide extraer en forma práctica y concreta un producto de interés. Otra propiedad negativa es el bajo pH que torna corrosivos a los biolíquidos. Además, la inestabilidad al almacenamiento que presentan los torna en un material impráctico para su manipuleo. El lavado previo del aserrín con ácido, antes de efectuar la pirólisis, lleva a un biolíquido mucho menos complejo, con elevada concentración de furfural, pudiendo considerarse como una fuente de este compuesto de importante valor industrial. Así, el biolíquido obtenido por pirólisis de aserrín de *E. grandis* previamente lavado con ácido sulfúrico, resultó estable al almacenamiento y altamente enriquecido en furfural, que implica un rendimiento a este compuesto del 20 % con respecto al aserrín de *E. grandis* sin tratar.

La lignina es un polímero con monómeros que se refieren como unidades p-hidroxifenil (H), guayacil (G) y siringil (S), respectivamente. Su abundancia determina las propiedades físicas de la madera. Tanto H como G le confieren mayor resistencia y propiedades recalcitrantes a la lignina, y por el contrario S lleva a una estructura con menor grado de polimerización y menos resistente a cualquier ataque. En las muestras analizadas, la relación Siringol/Guayacol es marcadamente mayor para *E. globulus*, indicando que la lignina de esta especie se encuentra menos estructurada que para los otros *Eucalyptus*. Esto indica que los ataques químicos y/o enzimáticos que se realizasen para esta especie resultan más eficientes que para las otras especies (*E. grandis* y *E. dunnii*).

4. CONCLUSIÓN

Las muestras evaluadas sugieren que estas especies de eucalipto pueden ser empleadas como materia prima en procesos de pirólisis para la obtención de productos de valor agregado.

Estos productos serían, biocarbón por un lado, que se obtiene con un rendimiento superior al 30 % para todos los casos. Por el otro, si se llevan a cabo tratamientos con ácidos minerales sobre el aserrín de las maderas, es posible obtener furfural con un rendimiento del 20 % aproximadamente.



Los resultados que se presentan son iniciales y novedosos a nivel nacional, próximos trabajos deberían realizarse para mejorar la información respecto al efecto de otras variables (manejo, sitios de plantación, edad de cosecha, tipo y fuente de material, etc.) sobre estas propiedades para cada especie. Esto inicia la posibilidad de comenzar a comprender nuevas aplicaciones y destinos locales para los productos y residuos de base forestal.

5. BIBLIOGRAFÍA

- CHAVES FERNANDES, B.C.; FERREIRA MENDES, K.; DIAS JÚNIOR, A.F.; DA SILVA CALDEIRA, V.P.; DA SILVA TEÓFILO, T.M.; SEVERO SILVA, T.; MENDONÇA, V.; DE FREITAS SOUZA, M.; VALADÃO SILVA, D. 2020. Impact of Pyrolysis Temperature on the Properties of Eucalyptus Wood-Derived Biochar. *Materials* (Basel). Dec 21;13 (24):5841. doi: 10.3390/ma13245841. PMID: 33371527; PMCID: PMC7767541.
- HEDONG, Z.; ZUOPENG, G.; WENYA, A.; JING, L.; GUANGQING, L.; JIE, F.; CHUNMEI, R.; XIAO, M.; QINHAO, K.; YANG L.; JIANJUN. D. 2017. Microwave pyrolysis of textile dyeing sludge in a continuously operated auger reactor: Char characterization and analysis. *Environ Pollut* 2017; 334:112e20. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.048>
- HERATH, H.M.S.K.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; HEDLEY, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, v.209, p. 188-197, 2013.
- HE, X.; LIU, Z.; NIU, W.; YANG, L.; ZHOU, T.; QIN, D.; NIU, Z.; YUAN, Q. 2017. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of gas and biochar obtained from pyrolysis of crop residues. *Energy* 2018; 143: 746e56. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.062>.
- HUANGPING, W.; QING, Z.; YU, L.; LIHUA, R.; FANGLIANG, L.; TAO, L.; BOQI, W.; QIUYING, W. 2015 Effects of pyrolysis temperature on yield and physicochemical characteristics of biochar from animal. *Manures* 2015;34: 2208e14. <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.11.024>.
- KABIR, G.; MOHD DIN, A.T.; HAMEED, B.H. 2017. Pyrolysis of oil palm mesocarp fiber and palm frond in a slow-heating fixed-bed reactor: a comparative study. *Bioresour Technol* 2017;241: 563e72. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.180>.
- LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; SKJEMSTAD, J.O.; THIES J.; LUIZA, F.J.; PETERSEN, J.; NEVES, E.G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci Soc Am J* 2006; 70: 1719e30. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>
- HOSOKAI, S.; MATSUOKA, K.; KURAMOTO, K.; SUZUKI, Y. 2016. Modification of Dulong's formula to estimate heating value of gas, liquid and solid fuels. *Fuel Process. Technol.*, 152, 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.06.040>
- SINGH, B.; SINGH, B.P.; COWIE, A.L. Characterization and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, Clayton South, v.48, n.3, p.516-525, 2010.
- VEIGA, L.A.; ABREU, T. R.; TARCÍSIO LIMA, J.; LIMA DE ABREU DESSIMONI, A.; FREIRE PEGO, M.; FELIPE; RIBEIRO S.; TRUGILHO, P. F. 2017. Different plant biomass characterization for biochar production. *CERNE*, 23 (4), pp. 529-536
- ZHENG, F.; LIU, D.; XIA, G.; YANG, Y.; LIU, T.; WU, M.; CHEN, Q. 2017. Biomass waste inspired nitrogen-doped porous carbon materials as high-performance anode for lithium-ion batteries. *J Alloy Comp* 2017; 693: 1197e204. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.10.118>.
- ZHANG, W.; MA, S.; CHEN, H.; HUANG, L.; QIU, R. 2013. Pb(II) and Cr(VI) sorption by biochars pyrolyzed from the municipal wastewater sludge under different heating conditions. *Bioresource Technology*, Melia Sitges, v.147, n. 2, p.545-552.



RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA PAMPA BRASILEÑA

Lucas J. MENDES¹, Jocimar C. MILAGRE², Saleta AMEIXEIRAS R.³, Damáris G. PADILHA⁴, Luciano F. WATZLAWICK⁵, Lúcio P. AMARAL⁶

RESUMEN

A pesar de su importancia ecológica, económica y cultural, el bioma Pampa ha perdido una parte importante de su biodiversidad, debido principalmente a los impactos provocados por la expansión de la agricultura y la silvicultura intensiva. En este contexto, el Pago por Servicios Ambientales (PSA) surge como una alternativa capaz de compatibilizar la generación de ingresos con la protección ambiental en las zonas naturales no forestales. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue identificar y analizar los principales retos para la implementación de programas de PSA en la Pampa brasileña. Se realizó una investigación exploratoria a través de la revisión de publicaciones científicas y legislación vigente a nivel federal y estatal. Los resultados de esta demuestran que las iniciativas de PSA en la Pampa brasileña son escasas y los principales retos para su implementación están relacionados con temas históricos asociados a la conservación de formaciones naturales no forestales, legislación específica reciente, cuestiones económicas y compromiso social y político. Ante este tema, es necesario continuar con estudios sobre la valoración de los servicios ecosistémicos que brinda el bioma Pampa, fortalecer el aparato legal e identificar qué modalidades de diseño son las más adecuadas para cada ubicación.

Palabras clave: *PSA, servicios ecosistémicos, conservación*

1. INTRODUCCIÓN

Los biomas de tipo pastizal están distribuidos en todo el mundo y se han visto intensamente afectados por las actividades humanas y el cambio climático (Gang et al., 2018). En América del Sur, el bioma Pampa presenta extensas llanuras de pastizales nativos con alta biodiversidad, que comprenden en torno a 1 millón de km² de superficie en Argentina, Brasil y Uruguay (MapBiomias, 2021). En Brasil, el bioma está presente exclusivamente en el estado de Rio Grande do Sul (RS), con cerca de 176 mil km², lo que corresponde al 63 % del territorio estatal (IBGE, 2004).

A pesar de su importancia ecológica, económica y cultural para la región, el bioma Pampa ha perdido una parte importante de su biodiversidad, principalmente debido a los impactos provocados por los cambios en el uso del suelo (Overbeck et al., 2007; Altmann y Berger Filho, 2020). Los principales factores responsables de los impactos negativos están relacionados con la expansión de la agricultura y la silvicultura intensivas en áreas con vegetación nativa anteriormente ocupadas por ganadería extensiva (Overbeck et al., 2007; Oliveira et al., 2017). Dichos impactos indican la necesidad de buscar estrategias que promuevan la conservación de estos ambientes amenazados (Altmann y Berger Filho, 2020).

En este contexto, el Pago por Servicios Ambientales (PSA) es una alternativa que proporciona un ingreso complementario a los productores rurales y, al mismo tiempo, garantiza la protección ambiental y la mejora de los servicios ecosistémicos (Delacote y Angelsen, 2015; Aguilar-Gómez et al., 2020). Este

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Contacto: mendeslucasjose@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Contacto: jocimarcaiafa@gmail.com

³ Grupo Tragsa, Santiago de Compostela, Galicia, España. Contacto: saleta.ameixeiras@hotmail.es

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Contacto: damaris.padilha@ufsm.br

⁵ Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, Brasil. Contacto: farinha@unicentro.br

⁶ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Contacto: lucio.amaral@ufsm.br



tema es relativamente reciente en la legislación brasileña, con énfasis a nivel federal en la Ley n° 14.119/2021, que instituyó la Política Nacional de Pagos por Servicios Ambientales (Brasil, 2021). A nivel estatal, la Ley n° 15.434 / 2020 prevé el fomento de la protección ambiental a través de PSA (Estado do Rio Grande do Sul, 2020).

Dada su importancia, los programas de PSA han ido creciendo en Brasil en los últimos años en biomas con predominio de formaciones arbóreas, especialmente en la Mata Atlántica (Pagiola et al., 2013; Coelho et al., 2021). Sin embargo, los biomas con predominio de formaciones no arbóreas carecen de políticas de conservación enfocadas en este tema (Overbeck et al., 2015). Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar y analizar los principales retos para la implementación de los programas de PSA en la Pampa brasileña.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación exploratoria a través de una revisión bibliográfica por palabras clave (PSA, bioma Pampa, Pagos por Servicios Ambientales, retos e iniciativas) y sus combinaciones en portugués, inglés y español. Las plataformas con base de datos de producción científica utilizadas fueron SciELO, Portal de Periódicos Capes, Science Direct y la Web of Science. Se utilizó Google Scholar como base de búsqueda complementaria. La legislación sobre el tema fue consultada en las páginas web de los gobiernos federal y estatal de Rio Grande do Sul.

El foco de la investigación fue definir y analizar los retos encontrados en la implementación de Programas de PSA en la Pampa brasileña (Figura 1), considerando aspectos ambientales, económicos, políticos, sociales y culturales.

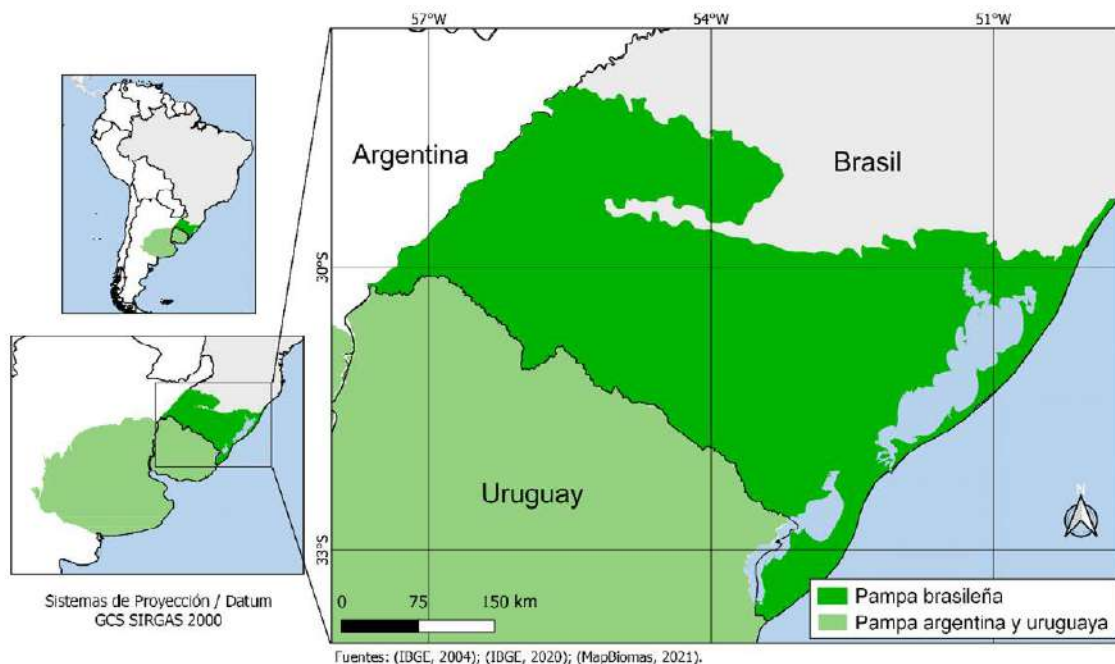


Figura 1. Ubicación y distribución geográfica del bioma Pampa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los últimos años se han puesto en funcionamiento varios programas de PSA en América Latina, con énfasis en iniciativas dirigidas a proteger los recursos hídricos y la biodiversidad, además de la captura de carbono y la protección del paisaje (Vargas, 2017). La mayoría de los programas de PSA en Brasil se concentran en el bioma de la Mata Atlántica, con un alto número en la región sureste del país.



Al proporcionar una amplia variedad de servicios ecosistémicos, el bioma de Pampa es de primordial importancia para mantener la biodiversidad, la regulación del agua, el secuestro de carbono y la identidad de la cultura gaucha (Altmann y Berger Filho, 2020). Sin embargo, se identificaron pocas iniciativas brasileñas de PSA en este bioma, lo que hace aún más importante la comprensión de los obstáculos asociados a su implementación.

Según Overbeck et al. (2007), la región pampa no fue tratada históricamente como un área prioritaria para la conservación, al igual que otras formaciones no forestales de Brasil. Este hecho se hace evidente al comprobar que no existe un acto jurídico específico en la legislación brasileña que proteja las particularidades ecológicas de biomas con predominio de formaciones vegetales no forestales (Sosinski Junior et al., 2019).

El Código Forestal Brasileño (Ley Federal nº 12.651/2012) diferencia entre dos tipos de áreas protegidas. Las Áreas de Conservación Permanente (APP) son áreas en entornos rurales o urbanos donde la vegetación es de suma importancia para el mantenimiento del equilibrio ecológico. Las Reservas Legales (RL) se definen como áreas representativas dentro de las propiedades rurales donde sus recursos se pueden utilizar de manera sostenible (Brasil, 2012). De acuerdo con el artículo 9 de la Ley Federal nº 14.119/2021, las propiedades rurales privadas, así como su APP y RL, pueden beneficiarse de las recompensas derivadas de los programas de PSA (Brasil, 2021). Sin embargo, a pesar de los recientes avances que aporta la legislación, es necesario trabajar en la definición de un instrumento legal regulatorio a nivel federal, que defina las posibles fuentes de pago y sus metodologías operativas. De la misma forma es necesario enfatizar que este aparato legal es muy reciente, e iniciar el cambio a través de una nueva política es un proceso lento (Altmann, 2021).

Según Kaiser et al. (2019), el pago por servicios ecosistémicos se basa en formas de recompensa en las que a los propietarios se les paga por una acción o cambio específico en el uso de la tierra. Las cuestiones económicas son cruciales para la decisión de participar en programas de valoración ambiental (Breustedt et al., 2013; Lakner et al., 2020). En relación con la ganadería, el estudio de Lakner et al. (2020) comprobó que los propietarios rurales con alta densidad de ganado están menos dispuestos a participar en iniciativas para la conservación de sus pastos, ya que el ganado tiene un mayor rendimiento de producción por hectárea.

En la fase de estructuración de los proyectos de PSA, es necesario definir los servicios ambientales que serán administrados y sus proveedores, además de identificar posibles agentes de financiamiento. En la Pampa, el almacenamiento de carbono, la protección del agua y la biodiversidad destacan como servicios gestionables (Tornquist y Bayer, 2009). Para cada situación, es fundamental establecer un análisis preliminar capaz de definir, a través de características locales o regionales, qué objetivos se cumplirán (Campos et al., 2007). Debido a la estrecha relación entre la ganadería extensiva y la conservación de la pampa (Castilhos et al., 2009) y la baja rentabilidad asociada a la actividad (Vargas, 2017), los ganaderos extensivos se establecen como potenciales receptores de compensación, ya que sus actividades prevén el mantenimiento y la mejora de los beneficios ecosistémicos generados. En relación a los agentes de financiamiento, en Brasil, así como en otros países de América Latina, el sector público es el principal responsable del aporte de recursos destinados a la conservación (Onishi, 2019). Además, el papel de las empresas privadas en el financiamiento se está convirtiendo también en una alternativa importante para las iniciativas de PSA en el país (Moreira, 2017).

Considerando el tema económico, aún es necesario ampliar el desarrollo de metodologías capaces de realizar una adecuada valoración de los servicios ambientales y buscar alternativas continuas de financiación. Existen varias formas de compensación para los productores, incluido el pago directo, la concesión de derechos de uso de la tierra, la provisión de mejoras sociales, los bonos verdes y la certificación de productos (Brasil, 2021). En el caso de la certificación, destaca en este bioma la *Alianza del Pastizal*, una iniciativa que promueve la preservación y uso sostenible del bioma a través de la certificación y etiquetado de la carne vacuna producida mediante manejo sostenible (Altmann y Berger Filho, 2020).



Los depósitos de carbono son uno de los grandes beneficios que proporcionan los campos del sur de Brasil (Overbeck et al., 2015), representando una opción estratégica para la valoración monetaria de los productores rurales. Tornquist y Bayer (2009) estimaron que la conservación de pastizales nativos con poca modificación antropogénica en Rio Grande do Sul puede representar un valor de compensación anual por depósitos de carbono de entre 249 y 385 millones de dólares. En el bioma Mata Atlántica, donde hay un mayor número de experiencias en el ámbito, sigue siendo un reto para los proyectos de PSA Carbono acceder a los mercados regulados. Las fuentes de recursos para el pago de los proyectos de PSA Carbono en Brasil provienen principalmente de iniciativas voluntarias de empresas que pretenden neutralizar sus emisiones de carbono (Moreira, 2017).

A pesar del fortalecimiento de los debates ambientales en los últimos años, aún sigue siendo complicado aumentar el compromiso social y político en torno a la implementación de proyectos de PSA. Según Guedes y Seehusen (2011), el éxito de los programas de PSA depende de la concienciación de la sociedad sobre los valores de los servicios ambientales que ofrece la conservación, restauración y uso sostenible de la vegetación autóctona. Estos mismos autores insisten en que el compromiso social es fundamental para incrementar la disposición a pagar por los servicios ambientales y asegurar que el tema tenga más peso en los debates políticos, lo que se reflejaría en una mayor asignación de recursos públicos y podría brindar una mayor captación de recursos privados o de otros países.

4. CONCLUSIONES

A pesar de los avances en los últimos años, la puesta en funcionamiento de programas de PSA en la Pampa se ve afectado por ciertos retos. En Brasil, las iniciativas de PSA en dicho bioma son escasas y los principales obstáculos para su implementación están relacionados con cuestiones históricas asociadas a la conservación de formaciones naturales no forestales, legislación específica reciente, cuestiones económicas y compromiso social y político.

Ante esta problemática, es necesario continuar con estudios sobre la valoración de los servicios ecosistémicos que aporta el bioma Pampa, fortalecer el aparato legal e identificar las modalidades de proyecto más adecuadas para cada ubicación y sus respectivos proveedores y financiadores. También es necesario impulsar una amplia participación de la sociedad civil.

El estudio de los retos para la implementación de proyectos de PSA en la Pampa proporciona subsidios para el desarrollo de iniciativas en esta área de Brasil y en países como Argentina y Uruguay.

5. LITERATURA CITADA

- AGUILAR-GÓMEZ, C. R.; ARTEAGA-REYES, T. T.; GOMEZ-DEMETRIO, W.; AVILA-AKERBERG, V. D.; PEREZ-CAMPUZANO, E. 2020. Differentiated payments for environmental services: A review of the literature. *Ecosystem Services*. 101131.
- ALTMANN, A. 2021. *Serviços ecossistêmicos e direito: delineamentos para uma teoria jurídica geral e uma tipologia*. Editora da Universidade Federal do ABC. Santo André. 485p.
- ALTMANN, A.; BERGER FILHO, A. G. 2020. Certification and labeling for conservation of ecosystem services in the Pampa Biome: Case study of the Aliança do Pastizal scheme. *Ecosystem Services*. 101209.
- BRASIL. 2012. Lei Federal nº 12.651/2012 - Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília.
- BRASIL. 2021. Lei Federal nº 14.119/2021 - Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Brasília.
- BREUSTEDT, G.; SCHULZ, N.; LATA CZ-LOHMANN, U. 2013. Factors affecting participation and compensation requirements in agri-environmental schemes: Insights from a discrete choice experiment. *German Journal of Agricultural Economics*. 244-258.
- CAMPOS, J. J.; ALPÍZAR, F.; MADRIGAL, R.; LOUMAN, B. 2007. Enfoque integral para esquemas de pago por servicios de ecosistemas forestales. *Ecosistemas*, 91-96.
- CASTILHOS, Z. M. S.; MACHADO, M. D.; PINTO, M. F. 2009. Produção animal com conservação da flora campestre do bioma Pampa. *Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília. 199-205.



- COELHO, N. R.; GOMES, A. D. S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R. B. 2021. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 409-415.
- DELACOTE, P.; ANGELSEN, A. 2015. Reducing deforestation and forest degradation: leakage or synergy?. *Land Economics*. 501-515.
- ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 2020. Lei Estadual nº 15.434/2020 – Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- GANG, C.; ZHAO, W.; ZHAO, T.; ZHANG, Y.; GAO, X.; WEN, Z. 2018. The impacts of land conversion and management measures on the grassland net primary productivity over the Loess Plateau, Northern China. *Science of the Total Environment*. 827-836.
- GUEDES, F.B.; SEEHUSEN, S.E. 2011. Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 272p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2004. Mapa da Vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil. Rio de Janeiro.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira. Rio de Janeiro.
- KAISER, T.; REUTTER, M.; MATZDORF, B. 2019. How to improve the conservation of species-rich grasslands with result-oriented payment schemes?. *Journal for Nature Conservation*. 125752.
- LAKNER, S.; ZINNGREBE, Y.; KOEMLE, D. 2020. Combining management plans and payment schemes for targeted grassland conservation within the Habitats Directive in Saxony, Eastern Germany. *Land Use Policy*. 104642.
- MAPBIOMAS. 2021. Colección 1 de Pampa Sudamericano (2000-2019). São Paulo.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DO BRASIL. 2019. A biodiversidade pouco conhecida do Pampa. Brasília.
- MOREIRA, T. 2017. Relatório WWF 2017 - Restauração Ecológica no Brasil: Desafios e Oportunidades. WWF-Brasil. Brasília. 89p.
- OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S.; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; BARCELLOS, J. O. J. 2017. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land use policy*. 394-400.
- ONISHI, C. M. 2019. Implantação de programas de pagamento por serviços ambientais (PSA) como estratégia de conservação do patrimônio natural: a contribuição do setor empresarial. *Disertación (máster) – Universidade Estadual de Campinas*. Campinas. 168p.
- OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. 2007. Brazil's neglected biome: the South Brazilian *Campos*. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 101-116.
- OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; MÜLLER, S. C.; CEOTTO, P.; DADALT, L.; DURIGAN, G.; GANADE, G.; GOSSNER, M. M.; GUADAGNIN, D. L.; LORENZEN, K.; JACOBI, C. M.; WEISSER, W. W.; PILLAR, V. D. 2015. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and distributions*. 1455-1460.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. 2013. Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil. São Paulo. 338p.
- SOSINSKI JUNIOR, Ê. E.; URRUTH, L. M.; BARBIERI, R. L.; MARCHI, M. M.; MARTENS, S. G. 2019. On the ecological recognition of *Butia* palm groves as integral ecosystems: Why do we need to widen the legal protection and the in situ/on-farm conservation approaches? *Land Use Policy*. 124-130.
- TORNQUIST, C. G.; BAYER, C. 2009. Serviços ambientais: oportunidades para a conservação dos Campos Sulinos. *Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília. 122-127.
- VARGAS, L. P. 2017. Serviços ecossistêmicos e produção animal no bioma Pampa: uma análise na área de proteção ambiental do Ibirapuitã. *Tesi (doctorado) – Universidade Federal de Santa Maria*. Santa Maria. 158p.

MÁS QUE **MÁQUINAS,** SOMOS **INCANSABLES.**

Cosechadora forestal 2144 G

Conseguila en **INTERAGROVIAL**



Con la adquisición del equipo, **contás con el servicio de monitoreo** a través de nuestro Centro de Soluciones Conectadas.
¡Contactate con nosotros!

INTERAGROVIAL

NUEVA SUCURSAL: RUTA NACIONAL 14 KM 249, CONCORDIA, ENTRE RÍOS
+54 9 345 492-1839
WWW.INTERAGROVIAL.COM.AR



JOHN DEERE

1° Corte Horizontal



Tipo de corte:



LÍNEAS
M/PRO
L/PRO
G/FORCE

Sierra Cinta Horizontal



Tipo de corte:



LÍNEAS
M/PRO
L/PRO
G/FORCE

MILL
INDUSTRIAS



CHIPEADORA MILL



APILADORA MILL



TRABADORA MILL



Tipo de corte:



Sierra Cinta Gemela

LÍNEAS
M/PRO
G/FORCE



Tipo de corte:



LÍNEAS
M/PRO
G/FORCE

MILL
INDUSTRIAS

-CALDERAS
GENERACIÓN Y COGENERACIÓN

- GRILLA FIJA
- GRILLA MÓVIL

-SECADEROS
CONTINUOS
-SECADEROS
DE CARGA FRONTAL



INGLAMIAUX
REPRESENTACIONES - INGENIERIA Y PROYECTOS
www.inglamiaux.com.ar
inglamiaux@gmail.com / Tel.Cel. +543764641177 - Posadas-Misiones



CoPAER

**COLEGIO DE PROFESIONALES
DE LA AGRONOMÍA DE ENTRE RÍOS**

**COMPROMISO CON LA
SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL**

Adhiere a las XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos 2021



- Proyectos de inversión forestal
- Administraciones
- Asesoramiento en compra de campos y forestaciones
- Fideicomisos forestales

Sarmiento 957 - Concordia - Entre Ríos
Tel (0345) 4212272 / mvonwernich@cideagro.com.ar

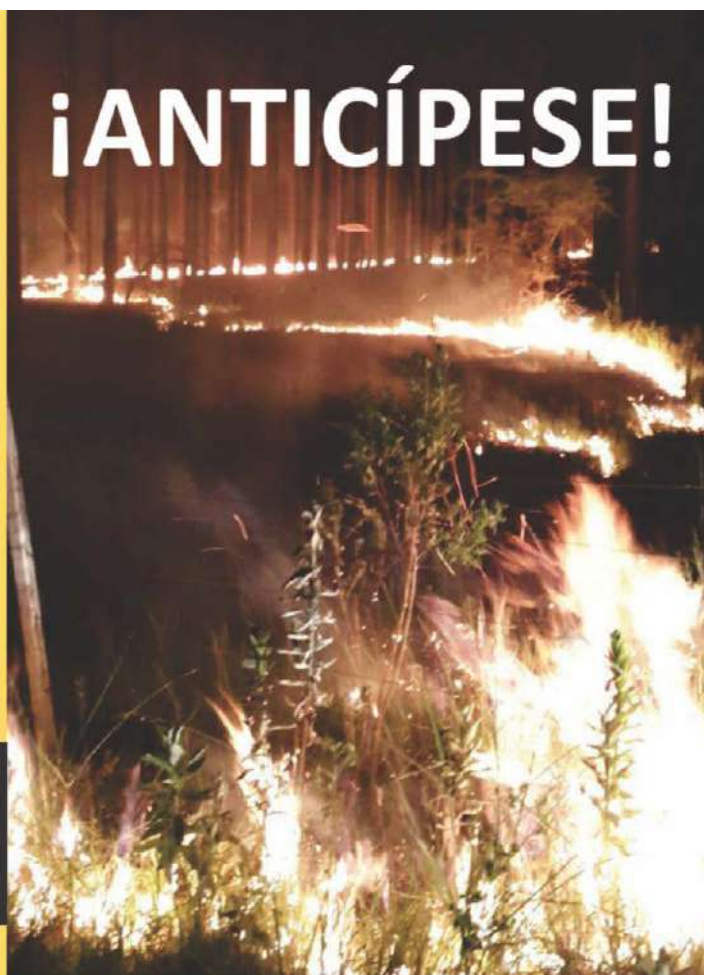


Únase a la ACE y minimice al máximo el riesgo de
Incendios Forestales y Rurales

La ACE es una Agrupación de Colaboración Empresaria, que trabaja
mancomunadamente para el logro de un objetivo común:
MINIMIZAR LA INCIDENCIA DE LOS INCENDIOS FORESTALES Y RURALES

Para mayor información comuníquese al
(0345) 15 4032065
o al mail aceriouruguay@gmail.com

¡ANTICIPÉSE!



ORGANIZADORES



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

Concordia,
Octubre de 2021

PATROCINADORES



CoPAER
COLEGIO DE PROFESIONALES
DE LA AGRONOMÍA DE ENTRE RÍOS



**CELULOSA
ARGENTINA**

INTERAGROVIAL



JOHN DEERE

INGLAMIAUX
REPRESENTACIONES - INGENIERIA Y PROYECTOS

rothoblaas
Solutions for Building Technology

