



XXXVI JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS



13 y 14
de octubre de 2022
Concordia, Entre Ríos

**ACTA DE
DISERTACIONES
Y CONTRIBUCIONES
VOLUNTARIAS**



Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES





XXXVI JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

13 y 14
de octubre de 2022
Concordia, Entre Ríos

ACTA DE
DISERTACIONES
Y CONTRIBUCIONES
VOLUNTARIAS



Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

er
entrierios
GOBIERNO





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, Javier Oberschelp, Leonel Harrand, María de los Ángeles García, María Noël Comparetto, Matías S. Martínez, Sergio O. Ramos, Gabriela Ayala

AIANER: Paola Velázquez y Paula Dacunda

Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial: Mario Flores Palenzona

INSTITUCIONES QUE COLABORAN

UTN Facultad Regional Concordia, AfoA Regional Río Uruguay, Consorcio Forestal Río Uruguay (COFRU)

COMISIÓN EVALUADORA DE TRABAJOS VOLUNTARIOS

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

Dr. Ing. Ftal. Hugo Acosta. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Dr. Ing. Ftal. Eduardo Hildt. INTA, EEA Montecarlo. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM).

Lic. Laura L. Owczarczyn. Departamento de Mejora de la Productividad Centro. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro Oriental, Sede Entre Ríos, Concordia.

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

Dra. Ing. Agr. Silvana Sione. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Becaria Posdoctoral CICYTTP – CONICET.

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. Matías S. Martínez. 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.

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

ORGANIZAN



ADHIEREN



PATROCINAN



COLABORAN





ÍNDICE

PREFACIO	9
RECONOCIMIENTO ANUAL	11
<u>Disertaciones</u>	
INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE INCENDIOS	13
Nicolás A. MARÍ, Arturo E. MELCHIORI	
RELEVAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE ARGENTINA, CON ÉNFASIS EN MESOPOTAMIA	19
Javier GYENGE, Ana LUPI, Gabriel GATICA, Martín SANDOVAL, Matías GAUTE, Mario FLORES PALENZONA, María GARCÍA, Juan Pablo ZABALA, Sebastián BESSONART, Federico CANIZA, Martín LÓPEZ, Marcelo FALCONIER, Marina D'ÁNGELO, Alejandra VON WALLIS, Iris FIGUEREDO, Marcos COSTA, Diego AQUINO	
CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES FORESTALES A PARTIR DE INFORMACIÓN DERIVADA DE PLATAFORMAS SATELITALES Y SERVICIOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS EN LA NUBE	24
Matías Carlos GAUTE, Micaela BRAVO	
BIODIVERSIDAD EN BOSQUES PLANTADOS DE MESOPOTAMIA Y DELTA	29
Natalia FRACASSI, Gustavo ZURITA, Julieta FILLOY	
POTENCIAL DE ESPECIES, CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE EUCALIPTOS PARA ELABORACIÓN DE CARBÓN VEGETAL	34
Juan Marcelo GAUNA, Natalia RAFFAELI, María Laura TONELLO, Leonel HARRAND, Ciro A. MASTRANDREA, Matías S. MARTINEZ, Gustavo Pedro Javier OBERSCHELP, A. José BAROTTO	
CERTIFICACIÓN DE BONOS DE CARBONO BAJO ESTANDAR VSC EN PLANTACIONES FORESTALES DE UNITAN	43
José Ignacio OTARAN	
DESCRIPCIÓN DE LA CADENA FORESTO INDUSTRIAL DE PINO DESDE UNA PERSPECTIVA DE MERCADO E IMPACTO ECONÓMICO	51
Pedro M. BOTTA OLACIREGUI	
<u>Día de Campo</u>	
MANEJO DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS EN CULTIVOS DE EUCALIPTO: INSTALACIÓN DE ENSAYO EN LA E.E.A. CONCORDIA	65
Sergio RAMOS, Carmen HERNANDEZ, Andrea ANDORNO	
FOTOGRAMETRÍA CON DRON: APLICACIONES FORESTALES. CONTEO AUTOMÁTICO DE ÁRBOLES	69
Juan E. FELDKAMP, Emilio MONTEFINALE, Walter FELDKAMP	
ENSAYO DE CLONES HÍBRIDOS PRE-COMERCIALES DE INTA	74
Leonel HARRAND, G. P. Javier OBERSCHELP, Carla S. SALTO	



ÍNDICE

DEFECTOS EN TABLAS ASERRADAS DE CLONES DE EUCALIPTOS DE INTA	77
Matias S. MARTINEZ, Rosa Ángela WINCK, Ciro A. MASTRANDREA, Leonel HARRAND, G.P. Javier OBERSCHHELP	
<u>CONTRIBUCIONES VOLUNTARIAS</u>	
ECUACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE ALTURA Y VOLUMEN EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EN EL NORTE DE LA REGIÓN PAMPEANA	92
Paula FERRERE, Dino PALAZZINI, Ana María LUPI, Pablo PATHAUER	
CARACTERIZACIÓN DE LAS RAMAS DE DOS CLONES DE EUCALIPTO Y SU RELACIÓN CON EL MANEJO DEL RODAL	96
Sergio O. RAMOS, María de los Ángeles GARCÍA	
PRODUCTIVIDAD DE MATERIALES COMERCIALES DE <i>Eucalyptus grandis</i> EN ENTRE RÍOS, ARGENTINA	101
Leonel HARRAND, G. P. Javier OBERSCHHELP, Carla S. SALTO	
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE CULOT SOBRE EL CRECIMIENTO DE <i>Eucalyptus globulus</i> EN MACIZOS DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	106
Laura GIAMBELLUCA, Florencia BONGIORNO, Luciano LARRIEU, Guillermo MILLAN, Víctor MERANI, Fernando ARCHUBY, Fabio ACHINELLI	
EFFECTOS DEL RALEO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCCIÓN DE <i>Araucaria angustifolia</i> A LOS 34 AÑOS EN EL NOROESTE DE MISIONES, ARGENTINA	111
Aldo KELLER, Ernesto CRECHI, Diego AQUINO, Sara BARTH, Mariano DI STASI, Cristhian CARAZZO, Diego CRISTALDO, Juan SCHAPOVALOFF	
APORTE DE BIOMASA DE RAMAS EXTRAÍDAS EN ENSAYOS DE PODA SISTEMÁTICA DE ALGARROBO BLANCO	116
A. Lorena S. PERNOCHI, Marcos A. ATANASIO	
AJUSTE DE FUNCIONES DE COPA Y DIÁMETRO PARA EL MANEJO DE RENOVALES DE <i>Prosopis alba</i> EN LA PROVINCIA DE CHACO	120
Fabián GÓMEZ, Sebastián KEES, Lucas VERA	
ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE PLANTACIONES DE <i>Prosopis alba</i> EN SITIOS DE DISTINTA CALIDAD EN FORMOSA	124
Liza L. LÓPEZ, María C. CAÑETE, Víctor R. PÉREZ	
COMPORTAMIENTO DE CLONES DE ÁLAMO EN DOS SUELOS DIFERENTES DE CALINGASTA, SAN JUAN	129
María Eugenia GARCÍA, María Julia NOSETTI, Juan A. BUSTAMANTE	
MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y DINÁMICO EN TABLAS DE ESCUADRÍAS COMERCIALES DE PINO HÍBRIDO	133
Rosa A. WINCK, María C. AREA, Diego R. AQUINO, Hugo E. FASSOLA, Aldo E. KELLER, Adelaida BRAGAÑOLO, María E. GAUCHAT	



ÍNDICE

VARIACIÓN DE LA POROSIDAD EN CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	138
Christian BULMAN HARTKOPF, Rosa A. WINCK, Hugo E. FASSOLA, Elsa I. FIGUEREDO, Pablo M. STEFANI	
DURAMEN Y ALBURA EN CLONES DE EUCALIPTOS DE INTA	143
Matías S. MARTINEZ, Rosa A. WINCK, Ciro A. MASTRANDREA, Leonel HARRAND, G. P. Javier OBERSCHELP	
PODER CALORÍFICO DE MADERA DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus grandis</i> Y <i>E. grandis</i> X <i>E. camaldulensis</i> PROVENIENTES DE CONCORDIA, ENTRE RÍOS	148
Elizabeth M. WEBER, Iris FIGUEREDO, Elisa A. BOBADILLA, Sabina E. GLÜCKSBURG, Adelaida BRAGAÑOLO, Matías S. MARTÍNEZ, Ciro MASTRANDREA, Obdulio PEREYRA, Teresa M. SUIREZS	
CARACTERIZACIÓN DEDROENERGÉTICA DE LA MADERA Y EL CARBÓN DE DOS CLONES DE ÁLAMO	153
Natalia RAFFAELI, Eleana SPAVENTO, A. José BAROTTO	
AFLUENCIA DE HONGOS DE LOS GÉNEROS <i>Ganoderma</i> Y <i>Trametes</i> EN LAS MADERAS EN USO, ELDORADO, MISIONES, ARGENTINA	158
Elisa A. BOBADILLA, Elizabeth M. WEBER, Iris FIGUEREDO, Obdulio PEREYRA, Ricardo C. BARTH, Teresa M. SUIREZS	
FABRICACIÓN DE TABLEROS ALISTONADOS <i>FINGER JOINT</i>: UNA ALTERNATIVA PARA EL AGREGADO DE VALOR Y EL FORTALECIMIENTO DE LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR FORESTO INDUSTRIAL DE LA PROVINCIA DEL CHACO	161
María Noelia ORDENAVIA, Lucas Sebastián VERA, Jesús Salvador ESPINDOLA, Leandro Augusto ROMERO, Constanza Josefina GARNICA, Gina Fiorella PESCAROLO, Marianela Karina PÉREZ	
ESTADO DEL ARTE DE LA MADUREZ DE LA GESTIÓN EN PYMES DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA	166
Miguel A. LÓPEZ, Mariano M. DI STASI, Jose L. NUCERA, Ricardo D. BENITEZ	
BUSCANDO SOLUCIONES A LA ESCALA DE LOS PROBLEMAS. PROGRAMA DE PAISAJE PRODUCTIVO PROTEGIDO EN ARAUCO ARGENTINA SA	171
Romel TORCAT, Mario GALEANO, Diego ARTEGO, Mariano DI STASI, Javier MAESTROPAOLO, Pablo CORTEZ, Alejandro D. BROWN, Lucio MALIZIA, Sebastián CIRIGNOLI	
EFFECTO DE LA COSECHA MECANIZADA SOBRE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA PENETRACIÓN EN SUELOS DEL SE BONAERENSE	176
Víctor MERANI, Matilde MUR, Luciano LARRIEU, Daniel FERRO, Esteban PEREIRA, Facundo GUILINO, Tatiana CINQUETTI, Juan Manuel VÁZQUEZ, Florencia BONGIORNO, Guillermo MILLAN	
COSECHA DE MADERA EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus</i> EN BRASIL: ENFOQUE DE <i>MACHINE LEARNING</i>	181
Thamires da SILVA, Valier Augusto SASSO JÚNIOR, Rodrigo Oliveira ALMEIDA, Rafeale Almeida MUNIS, Danilo SIMÕES	



ÍNDICE

PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DEL GRAPPLE SKIDDER EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus</i> EN BRASIL: ANÁLISIS ESTOCÁSTICO	186
Danilo SIMÕES, Quinny SOARES ROCHA, Ricardo HIDEAKI MIYAJIMA, Roldão Carlos ANDRADE LIMA, André Lucas SOUSA DA SILVA	
DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN FORWARDER EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus</i>: ENFOQUE EN MACHINE LEARNING	192
Valier Augusto SASSO JÚNIOR, Thamires da SILVA, André Lucas Souza da SILVA, Rodrigo Oliveira ALMEIDA, Rafeale Almeida MUNIS, Danilo SIMÕES	
VIBRACIONES DE CUERPO ENTERO PRODUCIDAS POR UN GRAPPLE SKIDDER	197
Quinny SOARES ROCHA, Roldão Carlos ANDRADE LIMA, Ricardo HIDEAKI MIYAJIMA, Emílio José COSTA FILHO, Danilo SIMÕES	
MODELOS PREDICTIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN RODALES DE <i>Pinus taeda</i> CON ALTA DENSIDAD	202
Eduardo HILDT, Andrés LESZCZUK, Emaunuel L. ALASIA, Maiten A. MARTINEZ, Patricio M. MACDONAGH	
¿PUEDEN LAS IMÁGENES SATELITALES SER UTILIZADAS PARA CLASIFICAR Y DISTINGUIR ENTRE GÉNEROS Y ESPECIES FORESTALES?	207
Ivan N. INSUA, Matías Carlos GAUTE	
ESTUDIO DE LOS INCENDIOS OCURRIDOS EN LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA ENTRE DICIEMBRE DEL AÑO 2021 A MARZO DEL AÑO 2022	212
Andrés Alejandro LESZCZUK, Damian LORÁN, Micaela Evelin MARTINEZ, Jesús Emmanuel LEIZICA, Santiago SEPPI	
EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE NAVEGADORES DE POSICIONAMIENTO SATELITAL BAJO LA COBERTURA ARBÓREA EN DIFERENTES MANEJOS SILVÍCOLAS	217
Martín O. ORONA, Alejandro U. WAIDELLISCH, Vanesa B. MANGEON	
REGENERACIÓN ARBÓREA NATIVA EN ÁREAS BOSCOSAS DEL ESPINAL	222
Silvana M. J. SIONE, Silvia G. LEDESMA, Leandro J. ROSENBERGER, José D. OSZUST, Magalí CATTANEO HILDT	
ESTRUCTURA VERTICAL DE BOSQUES DE <i>Gonopterodendron sarmientoi</i> EN ARGENTINA	227
Sebastián KEES, Dante LOTO, Maximiliano AZCONA, Santiago TELLERIA, Eduardo MANGHI, Juan GAITAN, Vanina CHIFARELLI, Pablo PERI	
EXTRACCIÓN DE ALCALOIDES A PARTIR DE HOJAS DE <i>Prosopis nigra</i>	232
Magalí S. HEIS, Walter A. TORRENT, Stefania C. APPELHANS, Pablo G. ACEÑOLAZA, Christian J. SEQUIN	
ESTUDIO ANATÓMICO FOLIAR DE ÁRBOLES Y SU RELACIÓN CON LA ZONIFICACIÓN URBANA	236
María Noelia SATTLER, Lis Azul ROCHA, Facundo GILARDONI, Mariana Gabriela BLANCO, Pablo Gilberto ACEÑOLAZA	



ÍNDICE

GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO EN SEMILLAS DE <i>Anisocapparis speciosa</i> (Griseb.) X. Cornejo & H. H. Iltis	241
María G. PAZ CORONEL, Nicolás F. HERRERA, Leonardo J. PISTAN, Tamara N. VALDEZ, Adriana B. BARROZO, Paola F. AGÜERO MARTINEZ, Antonieta N. SALADINO, Jorgelina A. VILLAGRA, Adriana E. ORTIN	
<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schlecht: VELOCIDAD DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE SUS SEMILLAS EN CONDICIONES DE LABORATORIO	246
Nicolás F. HERRERA, María G. PAZ CORONEL, Fernanda AGÜERO MARTINEZ, Tamara N. VALDEZ, Leonardo J. PISTAN, Adriana B. BARROZO, Antonieta N. SALADINO, Jorgelina VILLAGRA, Adriana E. ORTIN	
EFFECTO DE LA DERIVA SIMULADA DE GLIFOSATO EN ESPECIES DE INTERÉS FORESTAL	251
Paula GROSSO, Ignacio DELLAFERRERA, Adrián BENDER, Jonicelia ARAUJO, Mariel PERRETA	



PREFACIO

Este año, las Jornadas Forestales de Entre Ríos en su edición N°36 vuelven a la presencialidad después de dos años de formato virtual. Este tradicional evento que nos convoca para encontrarnos, crear y fortalecer vínculos, sigue siendo también el ámbito para difundir, discutir e incorporar saberes y experiencias entre todos los involucrados en la actividad foresto-industrial.

En esta ocasión privilegiamos el tiempo para el encuentro entre colegas y amigos, y consideramos particularmente la situación difícil que atraviesa nuestro país en todos los aspectos. Por ello, hemos armado un programa compacto, que inicia la tarde del jueves y continúa durante el viernes por la mañana, con temáticas vinculadas entre sí, de amplio interés y transversales a toda la actividad. A las disertaciones de salón, como a las de campo, se les suman los interesantes trabajos voluntarios, que desde cada especialidad presentan avances y descubrimientos de gran valor.

El fenómeno de la niña, manifestado durante un prolongado periodo de 2021-2022, ha sido, sin dudas, una de las condiciones que más ha afectado la situación de la actividad forestal por la gravedad de las pérdidas ocasionadas por los incendios rurales, y en particular en las forestaciones de todo el país. En la Mesopotamia esta situación ha trascendido incluso internacionalmente, por la superficie afectada, los gravísimos daños materiales, ambientales y económicos que ha ocasionado el fuego. Las medidas preventivas, los sistemas de detección temprana y monitoreo, la capacitación de los operarios y, sobre todo, el rol del Estado y la colaboración empresarial y vecinal son temas que hoy, más que en cualquier otro momento, convocan a todo el sector. Para abordar estos temas se organizó un panel interdisciplinario, con expertos y responsables de la gestión, capacitación y detección de incendios y las medidas para su prevención y combate seguro.

Por otro lado, mientras muchos sectores de la sociedad siguen cuestionando los efectos de los monocultivos forestales, tanto el sector público como el privado han avanzado para aportar evidencia científica sobre el papel de los bosques cultivados en la mitigación del cambio climático y la captura de carbono, así como de la biodiversidad que pueden albergar estos sistemas. Además, las plantaciones forestales permiten reducir la presión sobre los bosques nativos, con la provisión de materia prima y sus derivados para producción de energía. Para desarrollar estos temas se invitaron a investigadores reconocidos, quienes presentarán distintas miradas referidas a estas funciones menos reconocidas y valoradas de las plantaciones forestales.

En comparación con otros sistemas productivos, como los cultivos agrícolas, el uso de agroquímicos en las plantaciones forestales es muy reducido y acotado a la etapa de preparación del sitio y establecimiento de los rodales. Sin embargo, el compromiso con producir de manera más sustentable y cuidando el ambiente ha llevado a ampliar las opciones de manejo incorporando el control de plagas en un esquema de manejo integrado, lo que incluye el conocimiento de la plaga, sus hábitos, y alternativas para reducir la necesidad del uso de productos sintéticos. Para el control de hormigas cortadoras, una de las principales plagas que afectan las plantaciones forestales, se están desarrollando y estudiando diferentes combinaciones de estrategias de control. En el día de campo recorreremos uno de los ensayos en evaluación y conoceremos algunos resultados preliminares.



PREFACIO

Actualmente, conocer los recursos, las respuestas de diferentes materiales y su evolución y estado en distintos sitios, así como los potenciales usos industriales son la base de la planificación de las empresas forestales. Existen herramientas modernas que simplifican el reconocimiento del terreno, permiten generar mapas y hasta conocer número y estado de los árboles de un rodal. Para ampliar los conocimientos sobre estos temas se presentarán características y alcances de herramientas tecnológicas de punta aplicadas a la producción forestal, así como la evaluación de nuevos materiales genéticos de eucalipto desde el punto de vista productivo y de sus propiedades tecnológicas.

Finalmente, queremos destacar que, año a año, tanto Instituciones como empresas y asistentes nos permiten continuar organizando con éxito estas Jornadas, con su apoyo financiero y su acompañamiento en las diferentes propuestas. A cada uno va nuestro profundo agradecimiento.

María de los Ángeles García- Sergio Ramos

Coordinación general XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos



RECONOCIMIENTO ANUAL

Honrando una larga tradición de las Jornadas Forestales de Entre Ríos, en esta oportunidad queremos entregar nuestra emblemática distinción por su trayectoria y aportes al desarrollo del sector forestal, tanto regional como nacional, al Ing. Agr. M. Sc. Juan Adolfo López.

Juan es Ingeniero Agrónomo, egresado de la Universidad Nacional del Nordeste (1978) y posee una Maestría (Magister Scientiae) en Mejoramiento Genético, de la Universidad Nacional de Rosario (1992).

Juan comenzó su carrera como investigador en el Área Forestal de la EEA INTA Bella Vista allá por el año 1980; siendo inicialmente el único forestal, llegó a conformar un destacado laboratorio de calidad de madera ligado al mejoramiento genético de especies forestales (pinos, eucaliptos y otras latifoliadas) para usos de alto valor, del cual es actualmente su principal referente. Sus principales aportes técnicos están ligados a la incorporación de propiedades de madera a los programas de selección de árboles por métodos no destructivos. Claros ejemplos vinculados a eucaliptos son la densidad y rajado de la madera de eucaliptos, dos importantes características ligadas a la calidad del producto final. De hecho es uno de los primeros en el país en resaltar la importancia de incorporar criterios de calidad de la madera en la selección de árboles para bosques implantados.

Ha participado y coordinado además más de 15 Proyectos Regionales y Nacionales de INTA e Internacionales, publicado artículos científicos en revistas, libros y congresos nacionales e internacionales.

Por sus contribuciones al INTA, al conocimiento y al sector forestal, es que la comisión organizadora de las Jornadas Forestales de Entre Ríos desea entregarle el reconocimiento anual de esta edición 2022.



A dense forest of tall, thin trees, possibly a bamboo grove, with a green and blue color overlay. The trees are vertical and closely packed, creating a sense of depth and texture. The lighting is soft, and the overall tone is serene and natural.

Disertaciones



INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE INCENDIOS

Nicolás A. MARI¹, Arturo E. MELCHIORI²

RESUMEN

Bajo un contexto de variabilidad climática, los incendios de vegetación se constituyen como una de las amenazas ambientales más preocupantes por sus efectos en la degradación de ecosistemas naturales como sobre las pérdidas a la producción agropecuaria y forestal. La adaptación a un nuevo escenario climático debe acompañarse con información precisa, capacidades locales fortalecidas y procesos organizacionales que garanticen minimizar la exposición y vulnerabilidad de las poblaciones y sistemas productivos amenazados. El objetivo de este trabajo es presentar un caso de estudio en la Provincia de Córdoba, donde se trabaja en el desarrollo de información precisa y actualizada para la gestión integral de incendios, acompañado de procesos de organización territorial que involucra el desarrollo de capacidades locales y la organización de pobladores. Por medio de financiamiento de la CONAE se desarrolla un Sistema Integrado de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación (SiARTIVGeo), y de la mano de ello el INTA trabaja en el Desarrollo de un Sistema de Gestión Integral de Incendios. Ambas iniciativas se conjugan para promover acciones de mejora en el marco del ciclo de emergencias con especial énfasis en el diagnóstico territorial y la prevención de incendios.

Palabras clave: *prevención, ciclo de la emergencia, datos georreferenciados, organización*

1. INTRODUCCIÓN

SiARTIVGeo busca responder a las demandas del Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) en su necesidad de disponer de un sistema integral donde se produzca y se haga disponible de forma estandarizada y con la mayor celeridad posible información geográfica relevante, que sirva a los propósitos de la prevención, combate y posterior evaluación de daños producidos por incendios de vegetación para todo el territorio de la República Argentina. El sistema tiene como objetivo utilizar datos provistos por distintas plataformas de sensores remotos y datos de modelos numéricos de predicción meteorológica, entre otras fuentes de datos geográficos, que en su conjunto permitirán producir información relacionada con la ocurrencia de incendios de vegetación en tres (3) etapas: Pre, Durante y Post fuego (Mari, 2012). En función de ello, se define un componente de Peligro y Riesgo de incendios como parte de la fase Pre Fuego. El componente de Detección y Respuesta temprana a la fase Durante, y la cuantificación de daños a la etapa Post Fuego. La Teledetección es la técnica actual de mayor utilidad para adquirir datos de la superficie terrestre en forma continua para grandes superficies de la tierra. En función del objetivo, el uso de sensores ópticos o de Radar, permiten definir las técnicas asociadas a cada una de las tres fases arriba mencionadas. El seguimiento de las condiciones de Peligro y Riesgo de Incendios está asociado a la posibilidad de generar información de origen meteorológico junto a variables biofísicas de una determinada región (Índices espectrales y sus anomalías); como también la generación de variables que responden a actividades de origen antrópico respectivamente. El seguimiento de las condiciones de la vegetación mediante índices espectrales, junto al uso de índices de peligro de origen meteorológico, significan un esfuerzo considerable para poder anticiparse a su ocurrencia y llegar a manejar, al menos parcialmente, las condiciones de comportamiento del evento de fuego una vez ya iniciado. Durante un incendio es de vital importancia establecer cuáles son las condiciones posibles de propagación del fuego. Esta determinación, en la práctica, refuerza el trabajo a campo, la logística y las estrategias de supresión. La dirección de avance de las llamas, la ocurrencia de frentes secundarios y su distribución en el terreno, pueden ser

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AER Cruz del Eje, Córdoba. mari.nicolas@inta.gov.ar

² Investigador Independiente, emelchiori@gmail.com



monitoreadas remotamente a partir de la detección de focos de calor. En la etapa post fuego, es prioritario establecer: el perímetro quemado, la superficie quemada, su forma y extensión; especialmente en lo que refiere a la evaluación de daños, tanto naturales como materiales. La precisión con que se logre definir el perímetro quemado es especialmente relevante cuando se trata de incendios grandes que afectan áreas sensibles para la conservación o particularmente cuando se trata de incendios que afectan propiedades y recursos materiales comúnmente en la interfase urbano/forestal. El empleo de imágenes de satélite tiene ciertas ventajas a la hora de cuantificar la superficie del área o cicatriz quemada, cuantificar los tipos de vegetación afectados como también identificar los niveles de severidad. Las imágenes de resolución espacial media del tipo Landsat o Sentinel 2 sirven para elaborar mapas de área quemada con nivel de detalle adecuado para la elaboración de estadísticas regionales y locales (Melchiori et al., 2014). Las ventajas que tiene el uso de técnicas de Teledetección para la cuantificación de daños, radica en el hecho de que las estimaciones son precisas y consistentes y de bajo costo operativo. Permite automatizar el proceso de detección y evita el sesgo que pueda haber entre quienes toman los datos mediante recorridos a campo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Aplicaciones Pre-fuego

El Peligro y Riesgo de incendios representan las condiciones basadas en el análisis de variables de origen meteorológico y biofísicas de una determinada región y los aspectos de origen antrópico respectivamente para un momento dado. El sistema Canadiense "Fire Weather Index", FWI por sus siglas en inglés (Van Wagner., 1987), es el índice de Peligro Meteorológico de incendios de uso oficial en la Argentina y el más utilizado a nivel mundial. Se calcula en base a ecuaciones empíricas que emplean datos de precipitaciones, humedad relativa, temperatura y velocidad del viento adquiridos diariamente a las 12 del mediodía. Consta de seis componentes que tienen en cuenta los efectos de la humedad de distintos tipos de combustibles muertos (códigos de humedad) y las condiciones climáticas que intervienen sobre el comportamiento del fuego (índices de comportamiento). El código de humedad de combustibles finos se denomina FFMC. Determina el contenido de humedad que presentan los estratos herbáceos secos, como pastizales naturales o pasturas. El código de humedad del humus o mantillo se denomina DMC, determina el contenido de humedad en las capas orgánicas poco compactadas y ramas pequeñas bajo la cobertura forestal. El código de sequía DC determina el contenido de humedad en las capas orgánicas compactas profundas y en ramas y troncos más grandes (Bill de Groot et al., 2015). EL índice de propagación inicial (ISI) es una clasificación numérica de la propagación del fuego que se prevé para poco tiempo después de la ignición. El índice está íntimamente relacionado con las velocidades de propagación de incendios de todos los tamaños en muchos tipos distintos de combustible. El ISI es una función de la velocidad del viento y del FFMC, sus valores varían entre 0 y 70. Un valor de ISI mayor de 10 generalmente se considera alto (Bill de Groot et al., 2015). El índice de aceleración (BUI) es una clasificación numérica de la cantidad total de combustible disponible para combustión. El BUI es una función del DMC y el DC, principalmente controlada por el DMC. El DC sólo incrementa el BUI cuando las capas orgánicas profundas se vuelven secas. Si el DMC=0, el BUI=0, independientemente del valor del DC. Un BUI mayor de 60 generalmente se considera alto. Por su parte, el FWI es una clasificación numérica de la intensidad del fuego que combina la propagación inicial del fuego, y la aceleración del fuego por medio del ISI y el BUI respectivamente. A pesar de su aplicabilidad en distintas partes del mundo, se reconoce que los valores de FWI obtenidos para una determinada localización por sí solos no tienen valor, ya que los valores límite de los distintos componentes se ajustaron a un tipo de combustible estándar en Canadá (Pinus banksiana Lamb.), que corresponde a los bosques boreales y templados. Los rangos establecidos en la escala del FWI varían para los distintos ecosistemas ya que existen otros factores no meteorológicos que influyen en el Peligro de incendio, como por ejemplo, el tipo, cantidad y distribución del combustible, los tipos de suelo, causalidad de los incendios, etc.; que es necesario tener en cuenta a la hora de asignar los niveles de Peligro o Riesgo en las distintas zonas. Por ello para la adopción de un índice de peligro se recomienda un análisis preliminar del fenómeno fuego (estacionalidad, distribución, características), así como la variabilidad ambiental particular de la zona de estudio que debe incluirse



en el modelo (com. pers.). A diferencia de los combustibles muertos, los combustibles vivos suelen monitorearse con índices de vegetación en base a información espectral obtenida por medio de sensores remotos (Argañaráz et al., 2018). La experiencia del Sistema Nacional de Clasificación de Peligros de Incendios de Estados Unidos, NFDRS por su sigla en inglés, demuestra la utilidad en el uso de anomalías de índice verde para el seguimiento de las condiciones de la vegetación viva. Otras recientes aproximaciones para la caracterización de combustibles realizadas en Brasil, exploran la relación que existe entre la carga del combustible y la fracción que ocupan dentro de un pixel. Estas fracciones de cobertura representan la disponibilidad del combustible para quemar (Franke et al., 2018). Por su parte, los aspectos antrópicos que intervienen en la clasificación de riesgo de incendio generalmente son asociados a las actividades humanas que se desarrollan en la interfase urbano-forestal/rural. Tales zonas se refieren en términos generales a las áreas donde los bosques o áreas rurales se encuentran con las casas y la infraestructura que forma parte de las comunidades, pueblos o ciudades. La distancia a dichas zonas, como a la de otras que signifiquen un mayor contacto a fuentes de ignición (ej. Quema de basurales a cielo abierto, caminos rurales) resultan en aspectos que aumentan el nivel de riesgo de una determinada región.

Aplicaciones Durante

La detección de focos activos de un incendio se basa en la detección de anomalías térmicas en la superficie de la tierra. Estas detecciones se llevan a cabo analizando la información que provee la banda espectral ubicada en torno a los 3.9 μm correspondientes a la región del infrarrojo medio y en el infrarrojo térmico de 10,5 a 12,4 μm (Oliva & Schroeder, 2015). En base al estudio que relaciona las temperaturas de distintos objetos con la tasa de energía liberada captada en diferentes longitudes de onda térmica, se sostiene el desarrollo de algoritmos de detección de focos de calor (Giglio et al., 2003). Los incendios de vegetación generalmente implica la liberación de altas temperaturas, por lo que la detección a partir de sensores térmicos es muy adecuada (Wooster et al., 2013). La composición química de los distintos tipos de vegetación afectados por un incendio, junto con las condiciones de humedad de los combustibles y las características del tipo de fuego, establecen distintos procesos de combustión que determinan la cantidad de energía liberada. Experimentalmente se ha determinado que la temperatura de un frente de llamas activo es de aproximadamente 726 $^{\circ}\text{C}$, y la temperatura de un fuego humeante es en torno a los 326 $^{\circ}\text{C}$. Mientras que la temperatura ambiente es de 28,8 $^{\circ}\text{C}$, la diferencia entre objetos candentes es muy alta, lo cual permite detectar con precisión la fuente de calor, la cual puede estar asociada a un frente de llamas activo. Por lo general, los focos de calor representan los frentes de llamas ardiendo, y representan la ubicación aproximada de acuerdo al tamaño de pixel del sensor empleado. La moderada resolución espacial de los sensores utilizados, junto con complejas geometrías de visión de los sensores en las vistas fuera de nadir, hace que exista cierta incertidumbre en la ubicación real de la anomalía térmica en la superficie. Existen otras fuentes de calor de la superficie terrestre que suelen ser identificados como volcanes, torres de venteo de gas, equipos de paneles solares y entre otros, que pueden ser confundidos con frentes de incendios. En general las principales limitaciones están asociadas a los siguientes aspectos: no es posible establecer medidas fiables de superficie quemada de un incendio, existen discontinuidades de información entre imágenes simultáneas de satélites de órbita polar, el dosel de árboles puede impedir la detección de los frentes de llama activa, las nubes regulares evitan la detección, la topografía empinada también puede evitar la detección, los errores de ubicación generalmente son inferiores a 2 km, pero pueden alcanzar los 4 km, y existe un lapso de tiempo de entre 1 y 3 horas para distribuir la información a los usuarios finales. Por ello la información de focos de calor provista por satélites de órbita polar tienen limitada utilidad en la acción directa o el ataque inicial. Sin embargo, los datos de satélites geoestacionarios (GOES 16) si han demostrado ser de gran utilidad en la generación de alertas, gracias a su alta frecuencia temporal (10 min). En general la detección de focos de calor por medio de plataformas de órbita polar es útil para aquellos incendios de gran tamaño que ocurren en zonas lejanas y que duran muchos días. En estos casos, el alerta sobre la presencia de frentes activos o focos de calor, ofrecen la posibilidad de generar información que servirá para la planificación de las actividades a campo de los cuerpos de bomberos, como también para la previsión de cómo será el avance de los frentes activos en los días futuros de un determinado incendio.



Aplicaciones Post fuego

Un área quemada es una porción de la superficie terrestre que ha sufrido cambios a nivel estructural y funcional por causa del fuego. Las altas temperaturas del fuego deshidratan los componentes presentes alterando sus niveles de humedad y consumiendo posteriormente la vegetación, transformándola en carbón y ceniza dependiendo del nivel de combustión que se haya alcanzado. El suelo puede resultar total o parcialmente expuesto como resultado de la remoción de la cobertura vegetal, dependiendo de la severidad y la intensidad del fuego. Sean fuegos más o menos intensos, y dependiendo el tipo de superficie quemada, el fuego produce cambios en la cobertura afectada los cuales pueden detectarse mediante las alteraciones en las señales que se detectan por medio de las bandas espectrales que caracterizan la señal de la vegetación sana y quemada. La vegetación sana muestra una reflectancia muy alta en la región del NIR y una baja reflectancia en la porción del espectro SWIR, lo contrario de lo que se ve en áreas afectadas por el fuego. Por su parte, las áreas quemadas demuestran baja reflectancia en el NIR y alta reflectancia en el SWIR, es decir, la diferencia entre las respuestas espectrales de la vegetación saludable y las áreas quemadas alcanzan su pico en las regiones NIR y SWIR del espectro. Existen diferentes enfoques para la detección de área quemada en imágenes de sensores remotos satelitales. Por un lado los enfoques uni temporales, que involucran el uso de una única imagen donde se inspeccionan las variaciones de bandas o índices espectrales; Y por otro lado los enfoques multi temporales que inspeccionan las variaciones producidas por el fuego respecto de un estado de referencia. Existe una extensa bibliografía sobre separabilidad de clases quemado / no quemado de acuerdo a bandas y/o índices espectrales (Melchiori et al. 2015). La mayoría concluye que las bandas e índices espectrales en la zona del infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta son los más indicados para la detección de área quemada (Stroppiana et al., 2012). Esta generalidad puede tener sus limitaciones en ambientes que se inundan y queman en diferentes momentos del año. Las bandas infrarrojas son sensibles a la presencia de agua en la superficie, lo cual limita su confiabilidad en ambientes húmedos extremos. El empleo de imágenes de satélite tiene ciertas ventajas a la hora de cuantificar la superficie del área o cicatriz quemada, determinar los tipos de vegetación afectados como también identificar los niveles de severidad. Las imágenes de resolución espacial media del tipo Landsat o Sentinel 2 sirven para elaborar mapas de área quemada con resolución espacial adecuada para la elaboración de estadísticas regionales y locales (Melchiori et al., 2014). Las ventajas que tiene el uso de información satelital para la cuantificación de daños, radica en el hecho de que las estimaciones son precisas y consistentes y de bajo costo operativo. Permite automatizar el proceso de detección y evita el sesgo que pueda haber entre quienes toman los datos mediante recorridos a campo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema actualmente en desarrollo está en fase de prueba con algunos resultados preliminares. El modelo lógico (Figura 1) responde a los requerimientos de usuarios y del sistema relevado.

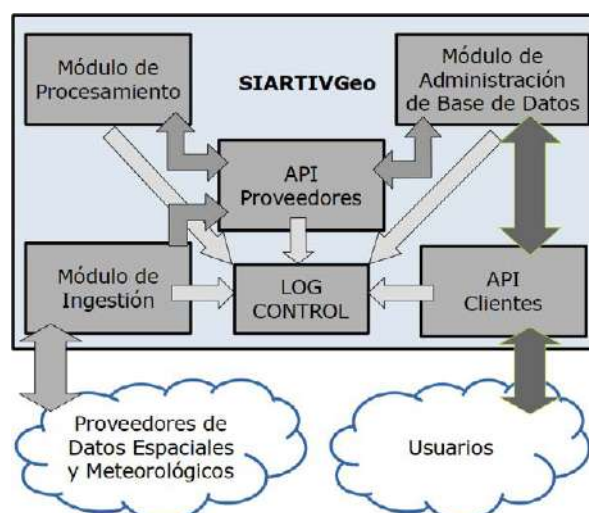


Figura 1. Modelo Lógico del SiARTIVGeo



La Figura 1 presenta el modelo lógico del SiARTIVGeo. En él se pueden identificar seis (6) módulos componentes y sus interfaces internas y externas. El flujo de los datos es el siguiente: Los datos espaciales y geográficos necesarios para elaborar los productos serán gestionados con proveedores externos mediante los componentes del *Módulo de Ingestión*, el registro de los mismos en la base de datos geográfica del sistema se realiza utilizando una API interna *API Proveedores*. La base de datos geográfica tendrá un diseño de tablas adecuado para los diferentes orígenes de los datos espaciales y los niveles de productos elaborados a partir de estos. El módulo de procesamiento utilizará la *API Proveedores* para solicitar los datos de entrada necesarios para los productos requeridos los cuales, una vez generados, serán registrados en la base de datos geográfica utilizando los métodos de la *API Proveedores*. Los usuarios registrados en el sistema consumirán los recursos publicados mediante una *API Clientes* basada en la Web y diseñada con estándares y criterios de interoperabilidad. El módulo de *LOG y Control* recibirá y analizará información sobre el funcionamiento del sistema emitiendo alertas a los operadores del sistema en caso de funcionamiento anómalo. Todos los datos de entrada y productos elaborados tendrán resguardo en una base de datos geográfica que proveerá el contexto adecuado para todos los datos geoespaciales.

4. CONCLUSIONES

La información generada por del SiARTIVGeo deberá ser empleada en un contexto de capacidades locales fortalecidas y organización a nivel de los territorios. La apropiación de la información, su interpretación y uso, necesariamente tiene que ser acompañada por una inter institucionalidad de los actores claves en cada una de las etapas del ciclo de la emergencia. La inversión y preparación en la etapa pre fuego debe orientar todas las acciones de prevención que alivien los altos costos operativos involucrados al momento del desastre. La anticipación a las condiciones de peligro y riesgo conjuntamente, se espera que disminuyan los impactos indeseados de los incendios. Los nuevos escenarios de cambio climático imponen un manejo preventivo y una adecuación a las prácticas tradicionales en el uso del fuego. La planificación de su uso adecuado y la gestión a nivel de paisaje deberán formar parte de futuros planes de ordenamiento territorial.

5. LITERATURA CITADA

- MARI, N. A. 2012. Diseño de un Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación. Documento de la Tesis de Magister en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias. Universidad Nacional de Córdoba.
- MELCHIORI, A. E.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; LIBONATI, R.; ALMEIDA C. P.; DE JESUS, S. C. 2014. A Landsat-TM/OLI algorithm for burned areas in the Brazilian Cerrado - preliminary results. *Advances in Forest Fire Research*. U. Coimbra. Portugal.
- MELCHIORI, A. E.; ALMEIDA C. P.; LIBONATI, R.; MORELLI, F.; SETZER, A. W.; DE JESUS, S. C.; FONSECA, L. M.; KÖRTING, T. S. 2015. Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Joao Pessoa. Paraíba. Brazil.
- VAN WAGNER, C. E.; FOREST, P. 1987. Development and structure of the canadian forest fireweather index system. In *Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep.*
- GROOT, W.; WOTTON, M.; FLANNIGAN, M. 2015. Wildland Fire Danger Rating and Early Warning Systems. 10.1016/B978-0-12-410434-1.00011-7.
- ARGANARAZ, J.; LIGHEZZOLO, A.; CLEMOVEKI, K.; BRIDERA, D.; SCAVUZZO, J.; BELLIS, L. 2018. "Operational Meteo Fire Risk System Based On Space Information For Chaco Serrano," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 3, pp. 975-980. doi: 10.1109/TLA.2018.8358681.
- FRANKE, J.; SENA BARRADAS, A. C.; BORGES, M. A.; MENEZES COSTA, M.; DIAS, P. A.; HOFFMANN, A. A.; OROZCO FILHO, J. C.; MELCHIORI, A. E.; SIEGERT, F. 2018. "Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management", *Remote Sensing of Environment*, Volume 217, Pages 221-232, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.018>.
- OLIVA, P.; SCHROEDER, W. 2015. Assessment of VIIRS 375 m active fire detection product for direct burned area mapping, *Re-mote Sensing of Environment*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.010>



- GIGLIO, L.; DESCLOITRES, J.; JUSTICE, C. O.; KAUFMAN, Y. J. 2003. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS, *Remote Sensing of Environment*, Volume 87, Issues 2–3, Pages 273-282, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6).
- WOOSTER, M. J. et al. 2013. Thermal Remote Sensing of Active Vegetation Fires and Biomass Burning Events. In: Kuenzer C., Dech S. (eds) *Thermal Infrared Remote Sensing. Remote Sensing and Digital Image Processing*, vol 17. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6639-6_18
- STROPPIANA, D.; BORDOGNA, G.; CARRARA, P.; BOSCHETTI, M.; BOSCHETTI, L.; BRIVIO, P.A. 2012. A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 69, Pages 88-102, ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.001>.



RELEVAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE ARGENTINA, CON ÉNFASIS EN MESOPOTAMIA

Javier GYENGE¹, Ana LUPI², Gabriel GATICA¹, Martín SANDOVAL³, Matías GAUTE⁴, Mario FLORES PALENZONA⁵, María GARCÍA⁶, Juan Pablo ZABALA⁷, Sebastián BESSONART⁷, Federico CANIZA⁸, Martín LÓPEZ⁹, Marcelo FALCONIER¹⁰, Marina D'ÁNGELO¹⁰, Alejandra VON WALLIS¹¹, Iris FIGUEREDO¹¹, Marcos COSTA¹¹, Diego AQUINO¹¹

RESUMEN

Se analizó la capacidad de distintos usos de la tierra de almacenar carbono orgánico en los primeros 30cm de suelo (COS) en las provincias que conforman la Región Mesopotámica, trabajo realizado en el marco del relevamiento nacional sobre el contenido de COS de plantaciones forestales. La cantidad de datos de COS de los usos de la tierra más comunes de la región revela la necesidad de incrementar la información en algunos de ellos para poder establecer el impacto sobre dichas reservas de carbono. En promedio, el COS fue de 51,7, 52,1 y 72,6 Mg/ha para Entre Ríos, Corrientes y Misiones, respectivamente. Mientras que no se determinaron diferencias significativas en el COS entre los usos de la tierra en las provincias de Misiones y Corrientes, en Entre Ríos el COS promedio de las líneas base fue mayor que los otros usos, mostrando valores intermedios y bajos de COS en las plantaciones forestales, destacándose *E. grandis* con respecto a *E. dunnii* y *P. taeda*. No se encontraron relaciones significativas entre la acumulación de COS y la edad de las forestaciones, aunque se discuten algunas inferencias a partir del manejo actual de las forestaciones.

Palabras claves: Carbono orgánico del suelo, plantaciones forestales, mitigación del cambio climático, cambio en el uso del suelo

1. INTRODUCCIÓN

El suelo conforma una de las principales reservas globales de carbono orgánico (COS), estimándose que en el primer metro almacena casi el doble de C que el contenido en la atmósfera y el triple que el que se encuentra en la vegetación terrestre (FAO y ITPS, 2015). Es importante resaltar que no todos los suelos y/o ambientes muestran la misma capacidad de almacenar carbono. Sumado a ello, la magnitud de COS es un valor dinámico ya que es el producto del balance entre las entradas y salidas de diversas moléculas de C. En este sentido, surge el concepto de saturación de carbono en el suelo, que define a la máxima cantidad de C que un suelo puede contener (Stewart et al., 2007). Este umbral depende de muchos factores abióticos y bióticos, que a la vez pueden ser dinámicos o estáticos, y que determinan que un sistema pueda seguir comportándose como sumidero de C o incluso como fuente, si las condiciones ambientales no favorecen los procesos de estabilización del mismo. En este marco, surge la necesidad de determinar no sólo el COS de los distintos usos de la tierra sino también, las condiciones ambientales en los que suceden.

¹ UEDD IPADS INTA CONICET sede Tandil / Javier_gyenge@yahoo.com

² Instituto de Investigación Suelos CIRN INTA

³ Lab. de Investigación de Sist. Ecológicos y Ambientales (LISEA) FCAYF UNLP

⁴ Área SIG e Inventario Forestal DNDFI

⁵ Técnico Regional DNFI, Entre Ríos

⁶ EEA Concordia INTA

⁷ Técnico Regional DNFI, Corrientes

⁸ EEA Bella Vista INTA

⁹ Técnico Regional Misiones N.E. Corrientes

¹⁰ Técnico Regional Misiones

¹¹ EEA Montecarlo INTA



En el marco de un trabajo conjunto entre la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (DNDFI -MAGyP) y el Programa Nacional Forestales (PNFOR) del INTA se analizó la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) a 0-30 cm de profundidad de las plantaciones forestales del país. De manera paralela, se obtuvieron y analizaron muestras de suelos en distintas forestaciones siguiendo un protocolo de trabajo previamente consensuado, así como también, se generó una búsqueda de información publicada en distintos ámbitos científicos (revistas internacionales, tesis e informes técnicos). En total se recabaron 859 datos individuales de COS a partir de 352 datos obtenidos por el relevamiento de campo (la información se volcó en el Visor Cartográfico de la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial; <https://visor-geoforestal.sigforestal.repl.co/>) y 507 de la bibliografía. Si bien el foco estuvo localizado en la capacidad de los suelos con **plantaciones forestales**, también se aplicó el mismo protocolo para obtener muestras de suelos bajo una cobertura vegetal con escaso impacto antrópico (**línea base**) y otros sometidos a distintos usos productivos (**usos alternativos**). Estos tres niveles de agregación se los denominó Usos de la tierra, que a la vez, estuvieron conformados por distintas Clases de uso de la tierra:

Línea base o referencia: representa aquellos sitios sin intervención (o con bajo nivel de intervención humana) y con cobertura vegetal natural: **Bosque nativo** representando una cobertura leñosa con distinto grado de cobertura (bosque denso o ralos, incluyendo del tipo sabana y arbustales) y **Pastizal** o vegetación espontánea en áreas sin o con bajo niveles de uso (ej., ganadería).

Uso alternativo productivo: Otros usos de la tierra que son frecuentes para la región y en donde se verifica un manejo con mayor intensidad que el grupo anterior: **cultivos anuales:** son todos aquellos cultivos que exijan una preparación de terreno o cosecha de manera anual. Este manejo implica un uso intensivo de la tierra con relativo alto tránsito de maquinaria y cambios periódicos en la cobertura vegetal; **pasturas:** herbáceas cultivadas para uso ganadero; **pastizales antropizados:** cobertura en mayor grado dado por herbáceas que permanecen varios años en el terreno y están bajo uso ganadero con moderada o alta carga en ambientes que originalmente fue pastizal o bosque; **cultivos leñosos:** Aquellos cultivos de especies que forman estructuras leñosas y permanecen varios años en el terreno, tales como los frutales o yerba mate.

Plantaciones forestales: Sitios en el cual el uso de la tierra se refiere al cultivo de especies leñosas. Sus clases se refieren a la categoría taxonómica relacionada con el género cultivado y al origen para el caso de las plantaciones con especies nativas: **Pinus spp.** Distintas especies del género *Pinus*; **Eucalyptus spp.** Distintas especies del género *Eucalyptus*.

2. PRINCIPALES RESULTADOS RELACIONADOS CON LA REGIÓN MESOPOTÁMICA

En el informe final en donde se resume la información del relevamiento nacional, se muestran los análisis estadísticos utilizados para analizar las diferencias en el COS de los distintos usos y clases de uso de la tierra, teniendo en cuenta la ubicación geográfica de cada dato. Esta información permitió determinar la ecorregión o cuenca forestal a la que pertenecen e incluso, incorporar variables ambientales desde distintas fuentes. Para el caso particular de la región Mesopotámica, el análisis estadístico (*backward selection procedure*) entre la relación de la variación de COS de las forestaciones con especies de rápido crecimiento y las variables ambientales indicó que la estacionalidad de la precipitación media anual (PMA; coeficiente de variación interanual en %; variable Bio15 de WorldClim; <http://www.worldclim.com>) y el porcentaje de arcilla del suelo (%; Schulz et al. 2022) fueron las dos variables que explicaron en mayor grado dicha variación de COS ($R^2= 0,34$). Estas mismas variables, tenidas en cuenta de manera independiente, explicaron en menor grado la variación de COS ($R^2= 0,26$ y $0,29$ para la estacionalidad de la precipitación media anual y el contenido de arcilla del suelo, respectivamente). Las ecuaciones ajustadas siguieron las siguientes formas (parámetro \pm desvío estándar, DS):

COS = exponencial ($5,0806 \pm 0,7528 - 0,00054 \pm 0,00035$ (estacionalidad de la PMA) + $0,02609 \pm 0,00745$ (porcentaje de arcilla del suelo))

COS = exponencial ($5,848 \pm 0,297 - 0,089 \pm 0,014$ (estacionalidad de la PMA))

COS = exponencial ($3,061 \pm 0,141 + 0,031 \pm 0,004$ (porcentaje de arcilla del suelo))



Del total de datos recabados a nivel nacional, se obtuvieron 207 datos para la región, distribuidos en 69 para las dos clases de la línea base (pastizal y bosque nativo), 38 para plantaciones con *Eucalyptus* spp. (*E. grandis* y *E. dunnii*), 48 para plantaciones con *Pinus* spp. (*P. taeda*, *P. elliotii* e híbrido) y 52 datos para las clases de uso alternativo (Cuadro 1). Las plantaciones con *E. grandis* estuvieron relativamente bien representadas en la provincia de Entre Ríos (28 datos; Cuadro 1), en donde sería necesario incorporar más datos relacionados con plantaciones de *E. dunnii* y *P. taeda* y/o de cultivos leñosos, para aumentar la capacidad de contrastar distintos usos productivos de la tierra. Para la provincia de Corrientes se han recabado entre 6 y 10 datos de plantaciones, con una baja representación de usos alternativos de la tierra relacionados con cultivos leñosos y pasturas (Cuadro 1). Finalmente, la provincia de Misiones cuenta con una alta densidad de datos, en donde sería recomendable aumentar el número de muestras para plantaciones con pinos híbridos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de clases de uso de la tierra en donde se obtuvo un dato de COS (Mg /ha) discriminado por provincias y en total para la región Mesopotámica. (--) no registra datos.

Clases de uso de la tierra	Entre Ríos	Corrientes	Misiones	Total
Bosque Nativo	9	--	20	29
Pastizal	16	21	3	40
<i>Eucalyptus dunnii</i>	3	--	--	3
<i>E. grandis</i>	28	7	--	35
<i>Pinus elliotii</i>	--	6	9	15
P. híbrido	--	--	3	3
<i>P. taeda</i>	3	10	17	30
Cultivos anuales	10	--	3	13
Cultivos leñosos	3	1	11	15
Pastura	--	1	6	7
Pastizal antropizado	--	17	--	17
Total	72	63	72	207

Se analizaron las diferencias entre las distintas clases de uso del suelo en cada una de las provincias mesopotámicas mediante la aplicación de una ANOVA de una vía. Este análisis indicó que solamente en la provincia de Entre Ríos se observaron diferencias entre las clases de uso del suelo (Gráfico 1). Allí, las plantaciones forestales con *P. taeda*, *E. dunnii* y cultivos leñosos mostraron los menores valores sin diferencias significativas entre ellas (COS promedio 26,4 Mg/ha; Gráfico 1). Por el contrario, las dos clases de usos del suelo de la línea base y los cultivos herbáceos mostraron los mayores valores (COS promedio 75,9 Mg /ha; Grafico 1). El COS promedio de las plantaciones forestales con *E. grandis* mostró valores intermedios (55,2 Mg/ha; Grafico 1). En promedio, el COS por provincia fue de 51,7, 52,1 y 72,6 Mg /ha para Entre Ríos, Corrientes y Misiones, respectivamente.

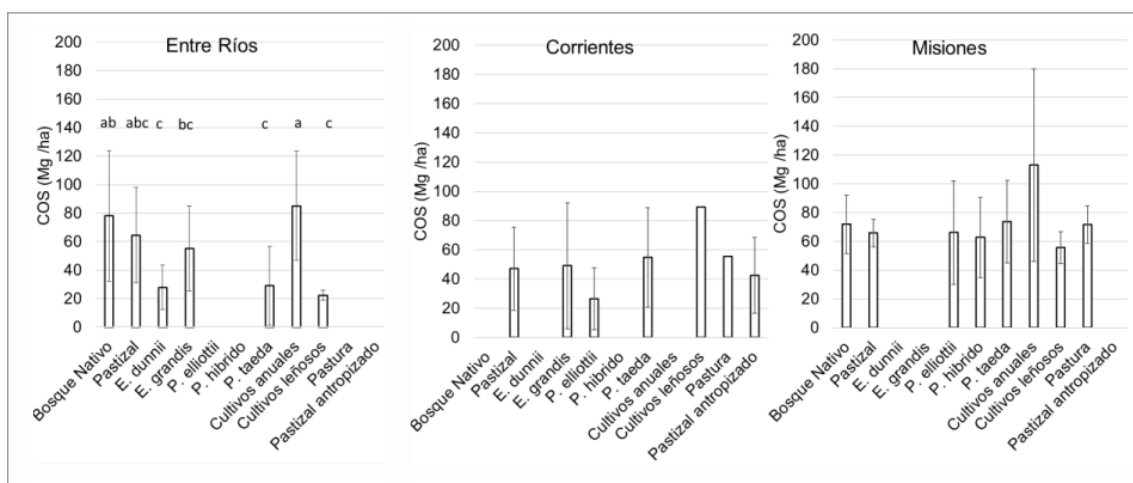


Gráfico 1. Carbono orgánico del suelo (COS, Mg/ha) para las distintas clases de uso de la tierra para las tres provincias mesopotámicas. Letras distintas indican diferencias significativas entre las clases de uso de la tierra. No se determinaron diferencias significativas en las provincias de Corrientes y Misiones.

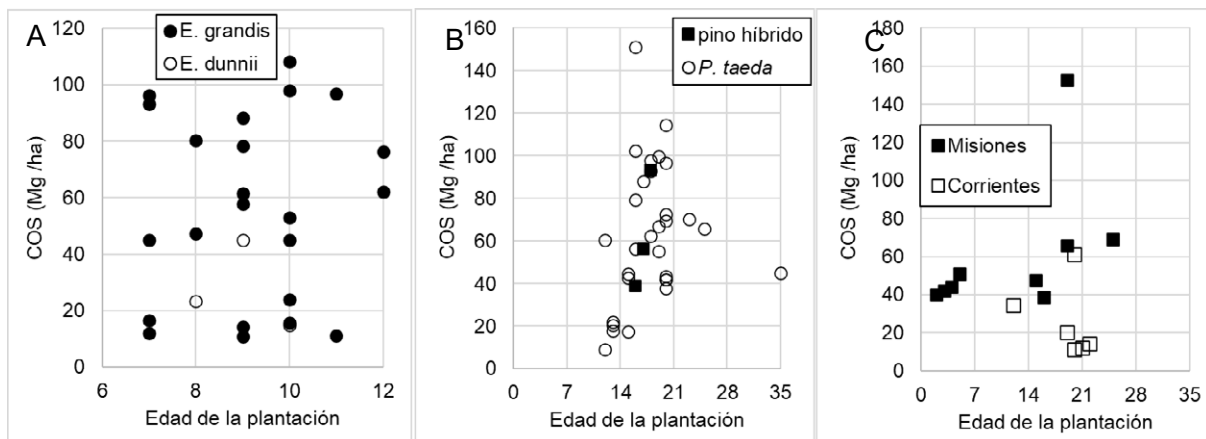


Gráfico 2. Carbono orgánico del suelo (COS, Mg/ha) en relación con plantaciones de *Eucalyptus* spp. (A), *Pinus* spp. (B) y *P. elliotii* en Misiones y Corrientes (C).

No se encontró una relación entre la acumulación de COS y la edad de las forestaciones con *Eucalyptus* spp. ni con *Pinus* spp. (Gráfico 2). En el caso de los *Eucalyptus* spp. y en particular para *E. grandis*, el valor de COS fluctuó desde 10 a 100 Mg COS/ha desde los 7 a los 12 años (Gráfico 2A). Este patrón acuerda con lo observado por otros autores (Sandoval Lopez et al., 2020; Lupi et al., 2021). En el caso de las plantaciones con *Pinus taeda* se observa un incremento del COS hasta los 20 años de edad, encontrándose un patrón inverso en los pocos datos obtenidos para edades superiores (Gráfico 2B). En la actualidad, las plantaciones de *P. taeda* en la región se están cosechando a edades menores de 20 años. En este marco, si bien se observa un incremento de COS con la edad, la relación es baja ($R^2=0,16$; $COS = 4,99 \text{ edad} < 20 \text{ años} - 21,82$). En relación con *P. elliotii*, se observan patrones distintos comparando plantaciones situadas en Misiones o Corrientes (Gráfico 2C). Para Misiones se observa un cambio de 40 a 70 Mg/ha de COS a lo largo de una cronosecuencia de 28 años (sin tener en cuenta un dato muy alto para esta provincia; Gráfico 2C). Para el caso de Corrientes se observa una disminución del COS, de 40 a menos de 10 Mg/ha, en plantaciones de 14 a 21 años (Gráfico 2C). Si bien los patrones de la relación entre el COS y la edad detallados por otros autores (e.g. Iglesia et al., 2012) muestran comportamientos positivos y distintos según la precipitación media del sitio, los patrones descritos en este trabajo han sido reportados para plantaciones con pinos en otras regiones del país.

3. CONCLUSIONES

El carbono orgánico en los primeros 30 cm de suelo (COS) de las plantaciones forestales en la región Mesopotámica mostraron, en términos generales, valores similares a las líneas bases, excepto en la provincia de Entre Ríos para las plantaciones con *E. dunnii* y *P. taeda*. Se recomienda aumentar el número de casos de algunos usos del suelo para poder evaluar el impacto del cambio de uso del suelo sobre el COS. En términos generales no se observó una relación entre la edad de las plantaciones y la acumulación del COS. En el caso particular de las plantaciones con *Pinus* spp., se recomienda mayores estudios en plantaciones de edades cercanas a la corta para evaluar patrones contradictorios.

4. AGRADECIMIENTOS

Las actividades fueron financiadas por el INTA y la DNDFI. Las siguientes personas / empresas facilitaron el acceso a sus campos: Eksarciyan Bogos Asadur Calabacilla y San Gregorio, Comercio y Desarrollo Ea. Palmar, Bomare Miralejos, Giudice Los Niestos, Foresta Argentina SA, Dacunda Cnia. La Paz, Forescor, Zunino-Velazquez, Finondo, Carlos Rafael, Abedul SA, Bosques del Plata, Las Marias Maria Concepción, Tapebicua, López Maria Silvia, USAL, Ferrum SA de Cerámica y Metalurgia, Fideicomiso forestal Euca Forest – Salinas, Empresas Verdes S.A. (EVASA), Empresa Williner. Establecimiento las Taperitas, Enrique Zeni, Pindo SA, Lipsia SA, Steven Alfredo, Simon Juan, Rauschmayr Maria, Papel Misionero, Sr. Felix (Vecino de empresa Papel Misionero), Isischu SRL, Buchinsky Tito, Frank Ralf, Est. Santa Cecilia.



5. LITERATURA CITADA

- 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, 3237–3251, doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02761.x.
- FAO y ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources: Main Report. Roma, Italy. ISBN 978-92-5-109004-6. 650 pp.
- LUPI, A.; STEINBACH, H. S.; CIARLO, E.; ROMANIUK, R.; COSENTINO, V. R. N.; RIMSKI-KORSAKOV, H.; ÁLVAREZ, C. R. 2021. Organic carbon stored in soils under different land uses and soil textures in southeast Argentinean Mesopotamia. *Geoderma Regional* 27: e00435.
- SANDOVAL LÓPEZ, D. M.; ARTURI, M. F.; GOYA, J. F.; PÉREZ, C. A.; FRANGI, J. L. 2020. *Eucalyptus grandis* plantations: effects of management on soil carbon, nutrient contents and yields. *Journal of Forest Research* 31:601–611. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0850-z>
- SCHULZ, G. A.; RODRÍGUEZ, D. M.; ANGELINI, M. E.; MORETTI, L. M.; OLMEDO, G. F., TENTI VUEGEN, L. M.; COLAZO, J. C., GUEVARA, M. O. 2022. Digital soil texture maps of Argentina (2.0) [Data set]. Zenodo.<https://doi.org/10.5281/zenodo.6312654>
- STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. 2007. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biochemistry*, 86: 19-31. DOI 10.1007/s10533-007-9140-0



CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES FORESTALES A PARTIR DE INFORMACIÓN DERIVADA DE PLATAFORMAS SATELITALES Y SERVICIOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS EN LA NUBE

Matías Carlos GAUTE¹, Micaela BRAVO²

RESUMEN

En Argentina existen 1 321 912 hectáreas con plantaciones forestales. Anualmente sufren cambios debido a eventos naturales y antrópicos. Considerando la extensión de nuestro territorio, resulta fundamental emplear metodologías actualizadas para poder identificar, cuantificar y monitorear las masas de plantaciones forestales a escala nacional, regional y predial, dependiendo de los objetivos definidos. Existen muchas experiencias donde se utiliza la información satelital y geomática para identificar especies forestales, analizar la evolución a través del tiempo, así como para estimar y cuantificar las variables estructurales de los bosques y dinámica de acumulación de biomasa forestal aérea. En lo que respecta a imágenes satelitales, el abanico de posibilidades afortunadamente es muy amplio. Lo mismo ocurre con los softwares necesarios para poder procesar la gran cantidad de datos que los sensores generan. Una nueva metodología de procesamiento “en la nube” está posibilitando alcanzar grandes resultados en forma eficiente y colaborativa.

Palabras clave: *plantaciones forestales, aplicaciones satelitales, sensores remotos.*

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina existen 1 321 912 hectáreas dedicadas a la producción forestal, predominando las forestaciones de pinos, eucaliptos y en menor medida la de salicáceas. Debido a la extensión de nuestro territorio, resulta fundamental emplear metodologías actualizadas para identificar, cuantificar y monitorear las masas forestales.

Existen muchas experiencias donde a partir de los sensores remotos y datos de terreno se logra identificar especies forestales cultivadas, analizar la evolución a través del tiempo (Trends.Earth, 2018; Kennedy et al., 2018), estimar y cuantificar las variables de estado estructurales de los bosques (Kangas et al., 2018).

En lo que respecta a imágenes satelitales, el abanico de posibilidades afortunadamente es muy amplio. Debido a su resolución espacial y temporal la serie Landsat ha sido utilizada exhaustivamente para el monitoreo forestal en relación a eventos naturales y antropogénicos desde el año 1972 (Nguyen et al., 2020). Actualmente la serie Sentinel-1 (radar) y Sentinel-2 (óptico) correspondiente a la misión satelital del programa Copernicus correspondiente a la Agencia Espacial Europea (ESA), están aportando datos de la superficie terrestre a escalas muy adecuadas para análisis espacio temporales prediales. Otra fuente de datos de interés, para el sector foresto industrial, son las imágenes radar de apertura sintética (SAR) de los satélites argentinos SAOCOM 1A y 1B. Estas permiten estimar altura de las plantaciones a partir de técnicas interferométricas. Los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) están siendo utilizados cada vez más frecuentemente para capturar datos de estructura forestal, y favorecen la calibración de modelos de predicción (Thomas et al., 2018; Bagaram et al., 2018)

Mediante nuevas metodologías basadas en la utilización de potentes servidores conectados entre sí a través de internet (“nube”) que paralelizan los geoprocursos, la disponibilidad de series completas de imágenes satelitales de distintas plataformas, sensores (activos, pasivos), fechas de adquisición

¹ Área SIG e Inventario Forestal. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. mgaute@magyp.gob.ar / +54 - 11- 4363-6181

² Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.



actuales e históricas y algoritmos espaciales, es posible estudiar variables fenométricas muy útiles a la hora de obtener información de interés para el sector foresto industrial.

Plataformas como Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017) facilitan el acceso a grandes colecciones de datos espaciales y librerías para geoprocesamientos. Incluso cada vez surgen nuevas aplicaciones sobre la base de la utilización de esta plataforma (Gärtner, 2019; Canty et al., 2019). Asimismo, los scripts (órdenes de trabajo codificadas) generados son factibles de compartir con otros equipos de trabajo, promoviendo la interacción interdisciplinaria. Otras plataformas como SEPAL (Open Foris, 2019), con similares características comienzan a tener relevancia por parte de las distintas agencias gubernamentales para múltiples propósitos. En tanto el software RStudio (RStudio Team, 2020) es ampliamente utilizado por la comunidad científica. Actualmente hay disponibles paquetes de R específicos para poder realizar estimaciones de biomasa (Rejou-Mechain et al., 2017) y también específicos para procesar datos de inventarios forestales relevados con LIDAR aerotransportado, Package 'lidR' (Roussel et al., 2018).

No menos importante resultan las validaciones de los productos satelitales con datos de terreno u otras fuentes complementarias disponibles. Poder realizar estas verificaciones en un entorno de programación acelera los flujos de información y resultados alcanzados.

2. CASOS APLICADOS

Identificación y cuantificación de Incendios forestales

Las plantaciones forestales pueden verse afectadas por focos de fuego no controlados y perder parte de sus superficies productivas, por lo que es necesario generar protocolos de detección temprana para proceder a la cuantificación de las áreas afectadas y la evaluación del grado de severidad en territorio. Para identificar y cuantificar la superficie correspondiente a plantaciones forestales afectadas por incendios se pueden utilizar varias alternativas. Actualmente, los canales de comunicación, redes sociales y diversos sitios web con información sobre la ocurrencia de incendios forestales aportan datos y rápidamente se logra localizar el área de estudio que está siendo afectada. Luego, existen algoritmos que mediante el procesamiento de imágenes satelitales delimitan y cuantifican la superficie del área quemada dentro de las forestaciones (Figura 1).

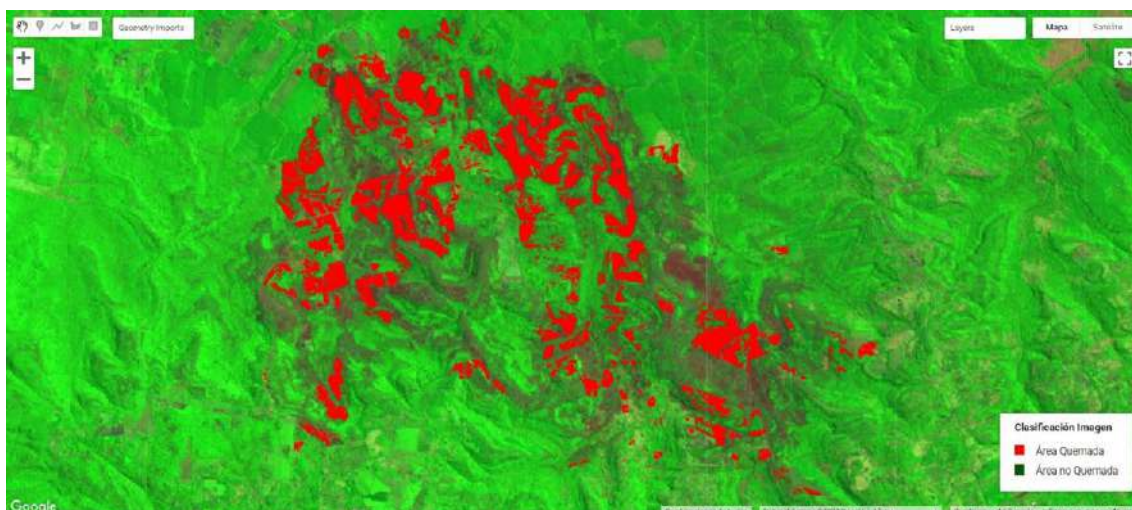


Figura 1. Detección y mapeo de incendio forestal del 2022/01/12. San Martín, Misiones.

Identificación de especies y aprovechamientos forestales

En el contexto particular de la gestión de bosques cultivados, este aspecto adquiere particular relevancia. La disponibilidad de imágenes satelitales se ha incrementado notablemente en las últimas décadas. Este factor ha posibilitado la creación de múltiples y variados mapas forestales con un creciente nivel de detalle, entre los cuales se destaca el Mapa Global de Cambios Forestales, desarrollado por Hansen et al. (2013).



La dinámica particular de los bosques cultivados determina la necesidad de efectuar un monitoreo periódico del estado y la evaluación de los cambios de esos estados. Afortunadamente se encuentran disponibles diversos productos globales para atender este desafío. A través del procesamiento de información de grandes volúmenes de imágenes satelitales en la nube, mediante la plataforma de Google Earth Engine, se obtiene el Mapa de Cambios Interanuales en las Plantaciones Forestales (Figura 2). Este análisis es posible desarrollarlo a diferentes escalas, considerando los objetivos definidos previamente y niveles de precisión esperados.

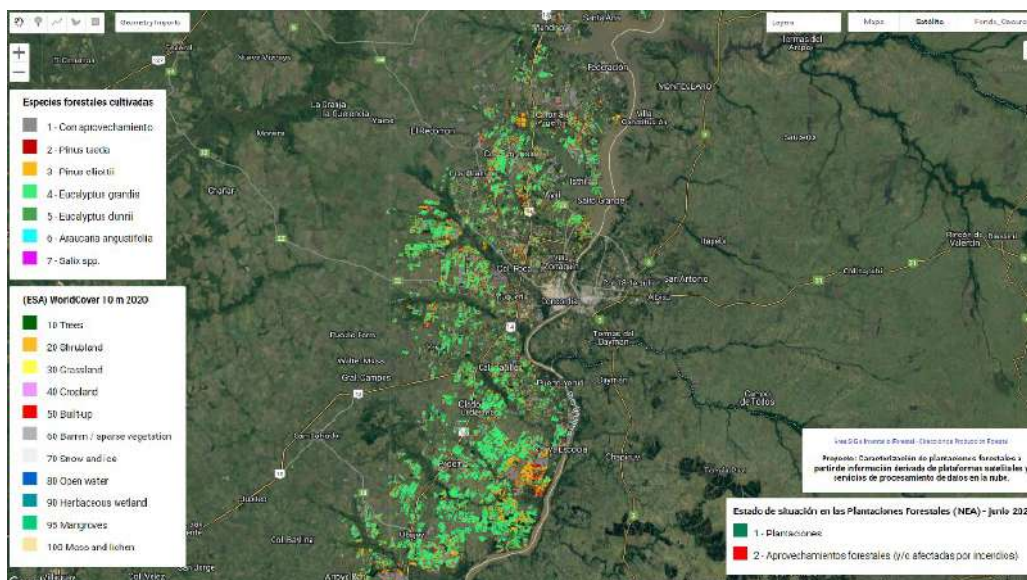


Figura 2. Mapa de distribución de especies forestales para las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos. App: <https://bit.ly/39nXdhR>

Estimación de variables de estado de interés forestal

Afortunadamente, las nuevas tecnologías y plataforma satelitales permiten estimar variables y complementar con las tradicionales mediciones en terreno. En este sentido plataformas satelitales como el satélite LIDAR (Light Detection and Ranging), ICESAT 2 con su sensor ATL08, o los aportados por el satélite Global Ecosystem Dynamics Investigation – GEDI, permiten obtener datos altimétricos de los bosques (en este caso las forestaciones), de manera de poder calibrar modelos predictivos para obtener mapas de altura de los rodales (dos Reis et al., 2018; Gaute et al., 2019) (Figura 3 y 4).

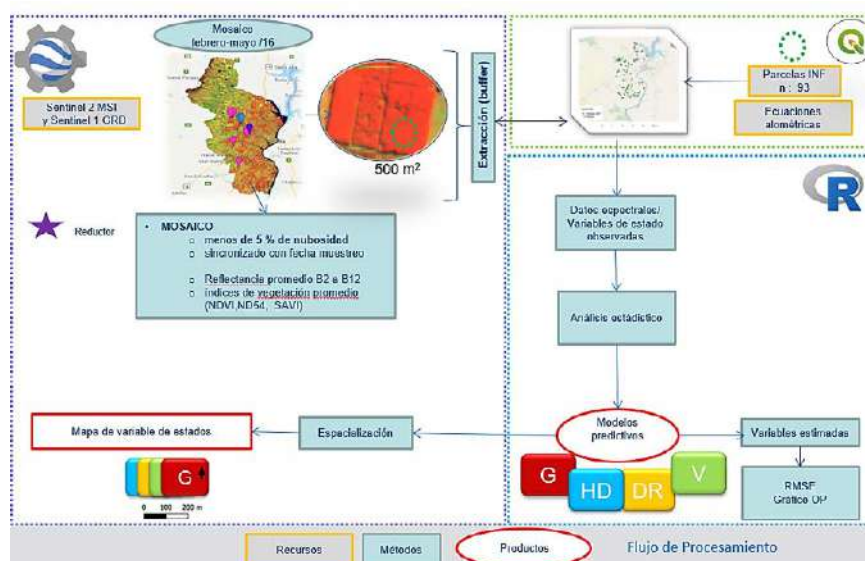


Figura 3. Flujo del procesamiento de los datos para la generación de modelos predictivos y mapas de las variables de estado estimadas.

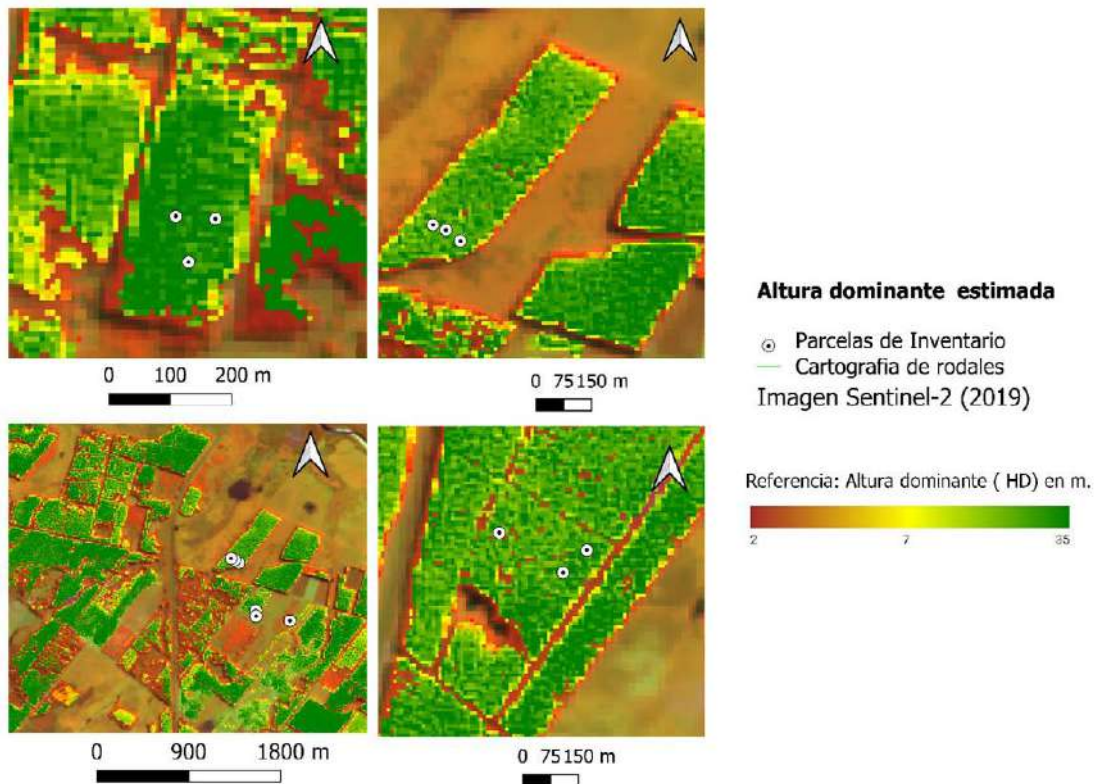


Figura 4. Producto correspondiente a la altura dominante (HD) estimada para el año 2019 sobre el área de estudio. La imagen de fondo corresponde Sentinel-2 de abril de 2019. RGB: bandas infrarrojo cercano - NIR (8), infrarrojo de onda corta SWIR (11), rojo (4) respectivamente. Se identifica la ubicación de parcelas relevadas a campo sobre la cartografía forestal.

3. CONCLUSIONES

Las herramientas brindadas por la teledetección y los sistemas de información geográficos y plataformas de procesamiento nos permiten generar protocolos ágiles y efectivos para el monitoreo sistemático, mapeo y cuantificación de diversas variables de interés para el sector foresto industrial. Es muy importante resaltar que la información obtenida mediante el procesamiento de información satelital es necesaria que sea complementada y o validada con caracterizaciones hechas en territorio.

4. LITERATURA CITADA

- BAGARAM, M. B.; GIULIARELLI, D.; CHIRICI, G.; GIANNETTI, F.; BARBATI, A. 2018. UAV Remote Sensing for Biodiversity Monitoring: Are Forest Canopy Gaps Good Covariates? *Remote Sens.*10, 1397. <https://doi.org/10.3390/rs10091397>
- CANTY, M. J., NIELSEN, A. A., CONRADSEN, K., & SKRIVER, H. 2019. Statistical Analysis of Changes in Sentinel-1 Time Series on the Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(1), [46]. <https://doi.org/10.3390/rs12010046>.
- DOS REIS, A. A.; CARVALHO M. C.; DE MELLO, J. M.; REZENDE GOMIDE, L.; FERRAZ FILHO, A.; ACERBI JUNIOR, W. 2018. Spatial prediction of basal area and volume in Eucalyptus stands using Landsat TM data: an assessment of prediction methods. *New Zealand Journal of Forestry Science* (2018) 48:1DOI 10.1186/s40490-017-0108-0
- H. NGUYEN, T.; JONES, S.; SOTO-BERELOV, M.; HAYWOOD, A.; HISLOP, S. 2020. Landsat Time-Series for Estimating Forest Aboveground Biomass and Its Dynamics across Space and Time: A Review. *Remote Sens.* 2020, 12, 98. <https://doi.org/10.3390/rs12010098>
- GÄRTNER. 2019. NEW!! Earth Engine App Gallery. <https://philippgaertner.github.io/2019/07/earth-engine-apps-gallery/>



- GAUTE, M.; BENÍTEZ, R.; FASSOLA, H.; BOCA, T.; ANDENMATTEN, E. 2019. Caracterización de plantaciones forestales a partir de información derivada de plataformas satelitales y recursos informáticos de alto rendimiento". JOTFEFA XVIII. Misiones. <https://www.jotefa.com.ar/>
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900#>. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science 15 Vol. 342, Issue 6160, pp. 850-853 DOI: 10.1126/science.1244693
- KANGAS, A.; ASTRUP, R.; BREIDENBACH, J.; FRIDMAN, J.; GOBAKKEN, T.; KORHONEN, K. T.; MALTAMO, M.; NILSSON, M.; NORD-LARSEN, T.; NÆSSET, E.; OLSSON, H. 2018. Remote sensing and forest inventories in Nordic countries - roadmap for the future. Scandinavian Journal of Forest Research, vol. 33, no. 4, pp. 397-412. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1416666>.
- KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; GORELICK, N.; BRAATEN, J.; CAVALCANTE, L.; COHEN, W. B.; HEALEY, S. 2018. Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. Remote Sensing. 10, 691.
- OPEN FORIS. 2019. <https://github.com/openforis/sepal/wiki>
- REJOU-MECHAIN, M.; TANGUY, A.; PIPONIOT, C.; CHAVE, J.; HERAULT, B. 2017. "BIOMASS : an R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests." Methods in Ecology and Evolution, 8(9). ISSN 2041210X, doi: 10.1111/2041-210X.12753, <http://doi.wiley.com/10.1111/2041-210X.12753>.
- RSTUDIO TEAM. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- ROUSSEL, J. R.; AUTY, D.; DE BOISSIEU, F.; MEADOR, A. S. 2018. lidR: Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry applications. R package version, 1(1).
- TRENDS EARTH. 2018. Conservation International. Available online at: <http://trends.earth>
- THOMAS, O.; STALLINGS, C.; WILKINSON, B. E. 2018. Journal of Unmanned Vehicle Systems, 0, 0, <https://doi.org/10.1139/juvsahi> -2018-0030.



BIODIVERSIDAD EN BOSQUES PLANTADOS DE MESOPOTAMIA Y DELTA

Natalia FRACASSI¹, Gustavo ZURITA², Julieta FILLOY³

RESUMEN

Las consecuencias de las prácticas forestales sobre la biodiversidad varían según el manejo silvícola, del agua y el hábitat sustituido. En este contexto, las plantaciones forestales pueden ser diseñadas y manejadas para preservar algunas especies silvestres y funciones ecosistémicas, pero se requiere de un trabajo inter-disciplinario y del consenso entre los actores involucrados para compatibilizar conservación y producción. Este trabajo presenta una compilación de investigaciones e iniciativas de Gestión Forestal Sostenible llevadas a cabo INTA, IBS-CONICET, FCEyN-UBA, AFOA en sistemas forestales de salicáceas, eucaliptos y pino, a través de la investigación-acción participativas e implementación de estrategias de manejo para mitigar y/o revertir los impactos sobre la diversidad de ambientes y especies de Mesopotamia y Delta. Algunos puntos de mejora en los últimos 20 años que se visualizan son, el incremento de la superficie forestal certificada CerFoAr-PEFC y FSC alcanzan unas 900 000 ha, el desarrollo de al menos 3 Manuales de Buenas Prácticas que incluyen Estrategias de Biodiversidad para Entre Ríos, Corrientes y Delta del Paraná, y la implementación del Programa IMPACT.AR (Ministerio de Ciencia y Tecnología) y 4 Observatorios de Biodiversidad en Plantaciones Forestales en NEA, NOA, Patagonia, Entre Ríos-Delta (CONICET). En conclusión, las plantaciones forestales poseen potencial de conservación en Mesopotamia y el Delta pero dependerá del tipo forestal, el manejo silvícola el contexto regional y de paisaje y los taxones y funciones que queramos mantener o beneficiar.

Palabras clave: *certificación, conservación, funciones ecosistémicas, manejo*

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, la conservación de especies y ecosistemas estuvo focalizada en las áreas naturales protegidas y en catalogar y describir especies que habitan en áreas poco exploradas. El modelo dominante de utilización del suelo en el siglo XX segregó las áreas dedicadas a la producción agropecuaria de aquellas protegidas para la conservación de la biodiversidad. En la actualidad, la mayor parte de la superficie terrestre posee algún tipo de manejo y las áreas de conservación no son suficientes para conservar la fauna silvestre, lo que promueve que muchas especies pasen a habitar paisajes alterados por las actividades humanas (Giman et al., 2007). A su vez, la insuficiencia de áreas protegidas requiere un manejo sustentable de las áreas de producción. El área mundial actual de plantaciones de árboles es aproximadamente el 7 % del área boscosa del mundo, y se espera que este valor aumente a más del 20 % durante el próximo siglo (FAO, 2020). Al menos una cuarta parte de las plantaciones comerciales mundiales consisten en especies arbóreas no autóctonas y de rápido crecimiento (FAO, 2020). Estas plantaciones a menudo son caracterizados por el público, los periodistas y, con frecuencia, los biólogos conservacionistas, como “desiertos biológicos” o “desiertos verdes” (Acosta, 2011; Qiu, 2014) y se considera en muchos casos que la biodiversidad de estos bosques es muy baja y se afirma que no dejan lugar para especies raras o en peligro de extinción (Acosta, 2011, Graves, 2015). Sin embargo, estudios recientes sugieren que las plantaciones no son necesariamente desiertos verdes (Carnus et al., 2006; Graves, 2015; Zurita 2019) ya que cambios en la heterogeneidad espaciotemporal junto con las perturbaciones naturales en las plantaciones a escala del paisaje pueden ayudar a mantener la biodiversidad de bosques (Lindenmayer et al., 2010; Horak et al., 2014), salvo casos donde se reemplazan ecosistemas muy diferentes como pastizales.

¹ EEA Delta del Parana, INTA.

² Instituto de Biología Subtropical (CONICET-UNaM). Facultad de Ciencias Forestales, (UNaM).

³ Dep. Ecología, Genética y Evolución - IEGEBA, CONICET FCEyN, UBA



Los cambios que generan de los bosques plantados de eucaliptus, pinos, y álamos y sauces en la Mesopotamia y Delta del Paraná (Argentina) y su caracterización, en referencia a su impacto sobre la biodiversidad en diferentes ambientes, distintas escalas y en diferentes situaciones de manejo han sido evaluados por varios los institutos de investigación dando como resultado no solo información de interés (ej. Fracassi, 2012; Fracassi et al., 2015; Nanni et al., 2019; Magnano et al., 2019; Fracassi et al., 2021; Pereira et al., 2022; Filloy et al., 2010; Corbelli et al., 2015; Pinto et al., 2018; Santoandré et al., 2019a, b; Munevar et al., 2018, 2022; Gangenova et al., 2018, 2020; Zurita, 2019; Gatti et al., 2019; Vespa et al., 2018), sino que han sido la base para el trabajo conjunto, convenios o acuerdos con productores, empresas, instituciones del estado y para la mejora entre otros casos, de las Normas de Manejo Forestal Sostenible asociados a las certificaciones ambientales. Estas certificaciones entre el 2001 y 2022 incorporaron unas 580 mil ha de empresas con sello Forest Stewardship Council (FSC) y unas 358 mil ha por el sello Certificación Forestal Argentina CerFoAR-PEFC a lo largo de la Mesopotamia y del Delta del Paraná, donde aproximadamente un 37 % tienen objetivos de conservación (Material compilado por el Área Gestión Forestal Sostenible –Dirección Forestal- Agosto 2022). También y en relación a ello en la última modificación a Ley de Promoción Forestal 25080 (Resolución 22/2021) establece que emprendimientos certificados bajo sistemas reconocidos internacionalmente de manejo responsable, reciben un DIEZ POR CIENTO (10 %) de incremento en el apoyo a la plantación. También se generaron 3 Manuales de Buenas Prácticas, 1 específico de Biodiversidad (Delta) y 2 que la incluyen en capítulos del tema, 1 de corrientes (Saiz et al., 2014) y 1 de Entre Ríos (Díaz et al., 2018)

Sumado a ello, y buscando generar estrategias co-construidas con los actores de los territorios, tratando de cumplir con la Estrategia Nacional sobre la Biodiversidad - Plan de acción 2016-2020 de la CONADIBIO, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las demandas socio-ambientales se desarrollaron Manuales y Protocolos (ej. Fracassi et al., 2013) con medidas específicas para incrementar la diversidad de distintos grupos de especies, para finalmente dar origen a un Observatorio en Plantaciones Forestales (CONICET) que establece un esquema de monitoreo periódico de indicadores en paisajes forestales y ecosistemas asociados. La evaluación y la valoración de diferentes grupos funcionales y servicios ecosistémicos asociados a la biodiversidad de las plantaciones y ecosistemas naturales donde se establecen, así como continuar delineando buenas prácticas y buscar indicadores de manejo a escala de paisaje que aumenten las probabilidades de la generación de corredores biológicos para algunas especies clave o paraguas* son algunos de los temas que siguen en proceso de desarrollo.

Aquí a continuación se comentan algunos resultados e iniciativas llevadas adelante por diferentes equipos de investigación y regiones:

➤ En el Bajo Delta del Paraná (Buenos Aires) se encuentra la mayor extensión de bosques plantados de álamo y sauce y ello fue a cuenta de la desaparición y transformación de los hábitats naturales y de las especies que los habitaban. Uno de los problemas más importantes que ha enfrentado la fauna y flora del Bajo Delta, es la pérdida de hábitat a través de la disminución o desaparición de los ambientes naturales, como resultado de la transformación de las condiciones hidrológicas del sistema producidas por los atajarrepuntes y endicamientos (los que actualmente ocupan aproximadamente el 17 % del Bajo Delta bonaerense; Gaute et al., 2007). Este proceso de transformación, sin embargo se refleja en un paisaje más heterogéneo que el original, compuesto por un mosaico de parches tanto de origen antrópico como natural (Kalesnik et al., 2008; Fracassi, 2012). Si la tendencia actual del uso de la tierra en el área continúa (ej. expansión forestal, sistemas silvopastoriles, pastoriles y otros usos urbanos), sin implementación de estrategias de conservación a diferentes escalas regionales las consecuencias para algunas especies de dependientes de humedales como la pajonalera de pico recto (*Limnortyx rectirostris*) sería dramático (Fracassi et al., 2022).

Para revertir la situación, entre otros desde 2009 existe un convenio sobre gestión forestal sostenible entre el INTA y la Asociación Forestal Argentina (AFoA), a través del cual científicos, productores y gestores desarrollaron en conjunto el Protocolo de “Estrategias de conservación de la biodiversidad en bosques plantados de salicáceas del Bajo Delta del Paraná” (Fracassi et al., 2013). Asociado al mismo en 2017 se consolidó una Guía de restauración de bosques ribereños (Fracassi y Furman, 2017).



Actualmente se trabaja en el estudio de servicios ecosistémicos brindados por aves insectívoras en sistemas forestales de humedales (tesis doctoral Lic. Sandra Cappelletti). Por último, existe un convenio de colaboración con la Empresa Arauco SA-INTA para trabajar sobre unas 25 000 ha en estrategias de conservación, donde en 2020, Arauco certifica por primera vez para Argentina un predio con Certificación FSC Servicios Ecosistémicos *Ciervo de los Pantanos*.

➤ En Mesopotamia, se están evaluando los efectos de prácticas forestales en la diversidad y funciones claves del ecosistema (dispersión de semillas, ciclado de nutrientes). En la selva Atlántica (Misiones) se compararon los diferentes usos forestales con la hipótesis que la riqueza de especies sería mayor en la selva, luego en forestaciones nativas (*Araucaria angustifolia*) y por último en forestaciones exóticas (*Pinus elliottii*). Los resultados indicaron que la diversidad y la riqueza específica fueron significativamente mayores en la selva que en las plantaciones, pero similar entre plantaciones nativas y exóticas (Zurita et al. 2006). Se estudió la aptitud de los hábitats modificados por distintas actividades humanas para conservar especies de aves y anfibios) e invertebrados (hormigas, arañas, coleópteros) nativas de bosques subtropicales (Corbelli et al., 2015; Pinto et al., 2018; Santoandré et al., 2019a, b; Munevar et al., 2018, 2022; Gangenova et al., 2018, 2020; Zurita 2019). Se analizó el efecto borde producido por el contacto entre el ambiente natural y ambientes modificados por las actividades humanas en sistemas productivos forestales de Argentina, considerando tanto la riqueza y composición taxonómica (Zurita et al., 2012; Peyras et al., 2013) como las funciones del ecosistema (Vespa et al., 2014). Adicionalmente, se estudió el efecto borde en las ecorregiones Campos y Malezales (Corrientes) y Selva Paranaense (Misiones) (Pinto et al., 2018). Otros estudios demostraron que los efectos de la actividad forestal en la diversidad taxonómica y funcional, de aves y hormigas depende del contexto regional en el cual la actividad se desarrolla (Filloy et al., 2010; Corbelli et al., 2015), y que las diversidades taxonómica, funcional y filogenética estuvieron acopladas (Corbelli et al., 2015a). A escala local en Entre Ríos, se está estudiando la influencia del manejo de rebrotes versus la replantación de *Eucalyptus sp.* sobre la diversidad de diferentes grupos taxonómicos y el control de posibles plagas. Se encontraron ensamblajes más ricos en los rodales con manejo de rebrotes, mayor abundancia de depredadores y mayor presión de depredación sobre potenciales plagas forestales (Filloy-Oxbrough et al., no publicado).

En conclusión, las plantaciones forestales muestran un importante potencial de conservación en Mesopotamia y el Delta. Sin embargo, para poder generar herramientas o propuestas de mejora, ello dependerá del tipo forestal, el manejo silvícola a escala local y de establecimiento, el contexto regional y de paisaje donde se realizan, y los taxones y funciones que queramos mantener o beneficiar.

LITERATURA

- ACOSTA, I. 2011. Green Desert' Monoculture Forests Spreading in Africa and South America. The Guardian.
- CARNUS, J. M.; PARROTTA, J.; BROCKERHOFF, E.; ARBEZ, M.; JACTEL, H.; KREMER, A.; et al. 2006. Planted forests and biodiversity. J. For. 104, 65–77.
- CORBELLI, J.M.; ZURITA, G. A.; FILLOY, J.; VESPA, N. I.; BELLOCQ, M. I. 2015. Integrating taxonomic, functional and phylogenetic beta diversities: interactive effects with the biome and land use across taxa. PLoSOne, DOI 10.1371/journal.pone.0126854
- DIAZ, D.; et al. 2018. Manual de buenas prácticas para el manejo sustentable de plantaciones en la provincia de Entre Ríos / - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaria de Gobierno de Agroindustria. DIPROSE- Dirección General de Programas y Proyectos Sectoriales y Especiales
- FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020.
- FILLOY, J.; ZURITA, G. A.; CORBELLI, J. M.; BELLOCQ, M. I. 2010. On the similarity among distant and closeby bird communities: the influence of human land use. Acta Oecologica 36: 333-338.
- FRACASSI N., FURMAN, C. 2017. Guía de campo para la restauración del bosque ribereño en el bajo Delta del Paraná. 1a ed. – Campana, Buenos Aires: Ediciones INTA.
- FRACASSI, N. 2012. Diversidad de mamíferos y aves en pajonales y forestaciones de salicáceas del Bajo Delta del río Paraná. Tesis Magister en Recursos Naturales, Escuela de Graduados "Alberto Soriano", FAUBA (UBA)
- FRACASSI, N. G.; BUCHTER, W. M.; BORODOWSKI, E.; SOMMA, D.; PEREIRA, J. 2015. Watercourses as habitat for capybaras in afforestations of the lower delta of the Paraná River, Argentina. Studies on Neotropical Fauna and Environment V 50 (3).



- FRACASSI, N.; COLS. 2021. BIRD DIVERSITY AND CONSERVATION IN THE LOWER DELTA OF THE PARANÁ RIVER, ARGENTINA. *El HornEro* 36 (2)
- FRACASSI, N.; QUINTANA, R.; PEREIRA J.; MUJICA, G. 2013. Gestión Forestal Sostenible. Protocolo de Estrategias de Conservación de la Biodiversidad en plantaciones forestales de Salicáceas del Bajo Delta del Paraná. Ediciones INTA
- GANGENOVA, E.; GIOMBINI, M. I.; ZURITA, G. A.; MARANGONI, F. 2020. Morphological responses of three persistent native anuran species after forest conversion into monoculture pine plantations: tolerance or prosperity? *Integrative zoology*, 15(5), 428-440.
- GANGENOVA, E.; ZURITA, G. A.; MARANGONI, F. 2018. Changes to anuran diversity following forest replacement by tree plantations in the southern Atlantic forest of Argentina. *Forest Ecology and Management* 424: 529-535.
- GATTI, M. G.; ZANINOVICH, S. C.; VESPA, N. I.; ZURITA, G. A. 2019. Moving away from the native forest edge: Changes in ecosystem processes towards the interior of *Pinus taeda* plantations. *Forest Ecology and Management* 432: 967-975.
- GAUTE, M.; MARI, N.; BORODOWSKI, E. D.; DI BELLA, C. 2007. Elaboración el monitoreo de póderes en el Bajo Delta Bonaerense durante el período 1985-2005. Teledetección-Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Ed. Martin, Buenos Aires
- GIMAN, B.; STUEBING, R.; MEGUM, N. 2007. A camera trapping inventory for mammals in a mixed use planted forest in Sarawak. *The Raf. Bul. of Zool.*, 55 (1): 209-215.
- GRAVES, G. R. 2015. Recent large-scale colonisation of southern pine plantations by Swainson's warbler *Limnithlypis swainsonii*. *Bird Conserv. Int.* 25, 280-293.
- HORÁK, J.; BRESTOVANSKÁ, T.; MLADENOVIC, S.; KOUT, J.; BOGUSCH, P.; HALDA, P.; ZASADIL, P. 2019. Green desert?: Biodiversity patterns in forest plantations, *Forest Ecology and Management*, Volume 433, pp 343-348, ISSN 0378-1127.
- HORAK, J.; VODKA, S.; KOUT, J.; HALDA, J.P.; BOGUSCH, P.; PECH, P. 2014. Biodiversity of most dead wood-dependent organisms in thermophilic temperate oak woodlands thrives on diversity of open landscape structures. *Forest Ecol. Manage.* 315, 80-85.
- KALESNIK, F.; VALLES, L.; QUINTANA, R.; ACEÑOLAZA, P. 2008. Parches Relictuales de Selva en galería (monte blanco) en la región del Bajo Delta del Río Paraná. *INSUGEO, Miscelanea*, 17: 169-192
- LINDENMAYER, D. B.; LIKENS, G. E.; FRANKLIN, J. F. 2010. Rapid responses to facilitate ecological discoveries from major disturbances. *Front. Ecol. Environ.* 8, 527-532.
- MAGNANO, A.; FRACASSI, N.; NANNI, A.; QUINTANA, R.. 2019. Changes in bird assemblages in an afforestation landscape in the Lower Delta of the Paraná River, Argentina, *Emu - Austral Ornithology*, DOI: 10.1080/01584197.2019.1581032.
- MUNÉVAR, A.; CARDOSO, P.; ZURITA, G. A. 2022. From forest to forestry: Reassembly of spider communities after native forest replacement by pine monocultures. *Ecological Entomology*.
- MUNÉVAR, A.; RUBIO, G. D.; ZURITA, G. A. 2018. Changes in spider diversity through the growth cycle of pine plantations in the semi-deciduous Atlantic forest: the role of prey availability and abiotic conditions. *Forest Ecology and Management* 424: 536-544
- NANNI, A.S.; FRACASSI, N.G.; MAGNANO, A. L.; CICCHINO, A.C.; QUINTANA, R.D. 2019. Ground Beetles in a Changing World: Communities in a Modified Wetland Landscape. *Neotrop Entomol* <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00689-2>.
- PEREIRA, J. A.; VARELA, D.; SCARPA, L.; FRUTOS, A.; FRACASSI, N.; LARTIGAU, B.; PIÑA, C. 2022. Unmanned aerial vehicle surveys reveal unexpectedly high density of a threatened deer in a plantation forestry landscape. *Oryx – The International Journal of Conservation*.
- PINTO, C. M.; SANTOANDRÉ, S.; ZURITA, G. A.; BELLOCQ, M. I.; FILLOY, J. 2018. Conifer plantations in grassland and subtropical forest: Does spider diversity respond different to edge effect? *Journal of Forest Research* 23: 253-259.
- QIU, L. 2014. Rare southern songbird thrives in 'Biological Deserts'. *National Geographic*. <http://news.nationalgeographic.com/2014/11/141113-warblerpines-timber-animals-birds-environment>
- SAIZ, J. E.; VERA BRAVO, C.; LUNA, C. 2014. Guía de buenas prácticas forestales para la provincia de Corrientes. 2014. - 1a ed. – Bella Vista, Corrientes: Ediciones INTA.



- SANTOANDRÉ, S.; FILLOY, J.; ZURITA, G. A.; BELLOCQ, M. I. 2019. Ant taxonomic and functional diversity show differential response to plantation age in two natural landscape contexts. *Forest Ecology and Management* 437: 304-313.
- SANTOANDRÉ, S.; FILLOY, J.; ZURITA, G. A.; BELLOCQ, M. I. 2019. Taxonomic and functional β -diversity of ants along tree plantation chronosequences differed between contrasting biomes. *Basic and Applied Ecology*, 41, 1-12.
- VESPA, N. I.; ZURITA, G. A.; GATTI, M. G.; BELLOCQ, M. I. 2018. Seed movement between the native forest and monoculture tree plantations in the southern Atlantic forest: A functional approach. *Forest Ecology and Management* 430: 126-133.
- ZURITA, G. A. 2019. Tree plantations and biodiversity conservation in the Atlantic forest: Allies or enemies?. *Forest Ecology and Management* 435: 27.



POTENCIAL DE ESPECIES, CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE EUCALIPTOS PARA ELABORACIÓN DE CARBÓN VEGETAL

Juan Marcelo GAUNA¹, Natalia RAFFAELI¹, María Laura TONELLO¹, Leonel HARRAND²,
Ciro A. MASTRANDREA², Matías S. MARTINEZ², Gustavo Pedro Javier OBERSCHHELP², A.
José BAROTTO^{1,3}

RESUMEN

En un contexto de cambio climático y mayor demanda de energía, la biomasa se vuelve particularmente valiosa como fuente energética para el reemplazo de los combustibles fósiles por alternativas tales como la leña y el carbón vegetal. En particular, la madera del género *Eucalyptus* puede ser muy relevante en este proceso, siendo el noreste de Entre Ríos uno de sus mayores núcleos productivos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar diversas propiedades dendroenergéticas de la madera y el carbón de diferentes especies y clones puros e híbridos del género *Eucalyptus*. Con respecto a la madera, los materiales se ubicaron dentro del rango de maderas livianas y semipesadas, cuyas características analizadas presentaron órdenes de magnitud similares a los reportados por trabajos referentes a este género botánico. En cuanto al carbón, se encontraron resultados contrastantes en función de la variable considerada. Los valores de densidad aparente relativa, contenido de cenizas y poder calorífico encontraron correspondencia con aquellos rangos comúnmente reportados para este género, mientras que el contenido de volátiles resultó sensiblemente superior al referido por la bibliografía. Se remarca la necesidad de continuar con los análisis, empleando diferentes protocolos, a fin de corroborar los valores obtenidos, los cuales resultan de gran importancia para establecer el potencial dendroenergético para su uso doméstico e industrial.

Palabras Clave: *poder calorífico superior, rendimiento de carbonización, densidad de la madera, carbono fijo, volátiles*

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de cambio climático y aumento de la demanda energética, se ha incrementado la necesidad de reemplazar fuentes de energía fósiles por aquellas provenientes de recursos renovables, y es así que el interés por la madera y el carbón vegetal se ha ido acrecentando a nivel global, pues permite reducir la emisión de gases de efecto invernadero, entre otras ventajas (FAO, 2020).

Nuestro país presenta una gran disponibilidad de recursos biomásicos, relativamente distribuidos en el territorio nacional (en particular, leña y carbón vegetal), que podrían contribuir a la generación de energía de fuentes renovables, diversificando la matriz energética. Los usuarios de este tipo de combustibles son variados, desde grandes consumidores industriales para la producción de energía, hasta consumidores comerciales y residenciales, que los utilizan para cocinar o calefaccionar, siendo estos últimos los principales usos de la biomasa como fuente de energía en países en vías de desarrollo. A nivel nacional, la producción de leña y carbón vegetal se realiza mayoritariamente en base a madera proveniente de bosque nativo de la zona norte del país. Ambas producciones, generalmente, cuentan con poco o nulo control respecto a la homogeneidad, sustentabilidad y legalidad de origen de la materia prima. En el caso del carbón, se elabora primordialmente en hornos de ladrillo del tipo “media naranja”. De acuerdo con las últimas estimaciones, la producción anual a nivel nacional rondaría las 230 000 toneladas (FAO, 2020).

¹ Cátedra de Industrias de Transformación Química, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. C.C. 31 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

² INTA EEA Concordia. Estación Yuquerí, C.C. Nro. 34; (3200). Concordia, Entre Ríos, Argentina

³ Autor de correspondencia: +54 9 358 4234062; jose.barotto@agro.unlp.edu.ar



El rendimiento de la carbonización está principal y directamente influenciado por las propiedades químicas, físicas, mecánicas y anatómicas de la madera utilizada para su elaboración, y por las condiciones del proceso productivo, principalmente la temperatura, velocidad de calentamiento y tiempos de residencia, así como la atmósfera de reacción (Pereira et al., 2012).

Si consideramos la disponibilidad de madera, tanto para su uso directo como para la producción de carbón, es fundamental hablar del género *Eucalyptus* L'Hér, el cual constituye uno de los principales representantes dentro de la actividad forestal mundial. Actualmente, el cultivo de eucaliptos en Argentina ocupa un lugar de preponderancia; las estimaciones disponibles más recientes indican que hay aproximadamente 300.000 ha cultivadas con diferentes especies de este género, ubicadas principalmente en las provincias mesopotámicas que concentran casi el 90% de la superficie implantada (Gorzycki, 2019). Esta es, además, la región con mayor grado de industrialización y, dentro de ella, la zona noreste de Entre Ríos es considerada el mayor núcleo de eucaliptos del país.

Ante la necesidad de preservar los recursos provenientes de los bosques nativos o destinarlos a usos de mayor sustentabilidad, una posibilidad consiste en reemplazar la materia prima proveniente de los mismos por otra que presente características similares o superiores. Teniendo en cuenta esto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades dendroenergéticas de la madera y el carbón de diferentes materiales del género *Eucalyptus*, incluyendo diferentes especies, híbridos y clones.

El presente trabajo fue financiado con aportes de INTA a través de los proyectos: PL 385 "Aportes a la diversificación productiva y el agregado de valor en el Noreste de Entre Ríos", PE I146 "Mejoramiento genético de especies forestales cultivadas y nativas de rápido crecimiento", PE I148 "Procesos y tecnologías sostenibles para el agregado de valor en las cadenas y regiones" y PE I149 "Bioenergía en origen como estrategia para el desarrollo de la agroindustria y el desarrollo territorial sostenible".

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló en base a dos lotes ubicados en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en Estación Yuquerí en cercanías de la localidad de Concordia, Entre Ríos. Los suelos sobre los que se ubicaron estos ensayos corresponden a la serie Yuquerí Grande (ER2-46C) y el clima de la zona presenta una temperatura media cercana a los 19 °C. Las precipitaciones medias anuales rondan los 1350 mm, repartidas a lo largo del año.

Los dos lotes evaluados fueron instalados en 2014, con un distanciamiento de 3 metros entre líneas y entre plantas, y se encuentran distanciados entre ellos por poco más de 600 metros en línea recta. En total se evaluaron 13 materiales. Estos se componen por los clones híbridos GC INTA 8 (híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis*; abreviado GC8); GC INTA 9 (GC9); GC INTA 12 (GC12); GC INTA 24 (GC24); GC INTA 27 (GC27); GT INTA 31 (híbrido *E. grandis* x *E. tereticornis*; GT31); el clon puro EG INTA 36 (EG36) y las especies puras *E. grandis* (EG), *E. dunnii* (ED), *E. benthamii* (BE), *E. cloeziana* (CL), *E. camaldulensis* (EC) y *E. tereticornis* (ET).

El apeo de los árboles se realizó a la edad de 7 años, todos ellos con un DAP entre 10 y 20 cm. Se voltearon 4-5 árboles de cada material genético y de cada uno se extrajo una porción basal de 1,5 metros de longitud, de donde se cortaron cubos de aproximadamente 2 cm de lado, utilizados como probetas destinadas a las evaluaciones de laboratorio.

Los ensayos de aptitud dendroenergética se realizaron en la cátedra de Industrias de Transformación Química de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP, y en el Laboratorio de Calidad de Alimentos, Suelos y Agua de INTA Pergamino los de poder calorífico.

Determinaciones en madera

Densidad básica (g/cm³). Se calculó en 4 cubos de cada material. Se sumergieron los cubos en agua durante un lapso de 3 días para lograr una completa saturación y luego se le determinó el volumen por inmersión. Posteriormente fueron llevados a estufa, a 105 °C, hasta peso constante.



Densidad básica (g/cm³) = peso seco / volumen verde

Proporción de cenizas (%). Se realizó colocando las probetas de madera en crisoles de porcelana en mufla eléctrica, determinando el contenido de cenizas según protocolo de trabajo (ascenso de temperatura a una rampa de 8 °C/min hasta alcanzar los 900 °C, permanencia a esa temperatura por 2 horas y descenso natural hasta alcanzar temperatura ambiente).

*Proporción de cenizas (%) = peso cenizas / peso madera * 100*

Poder calorífico superior de la madera (kcal/kg). Se utilizó una bomba calorimétrica y siguiendo la norma europea Fpr EN 14918 ("Solid biofuels - Determination of calorific value").

Rendimiento de carbonización (%). Las probetas de madera fueron sometidas a un proceso de pirólisis en laboratorio bajo condiciones controladas, utilizando una mufla eléctrica. Se trabajó con alícuotas entre 30 y 50 gramos, con dos repeticiones por cada material, colocadas en crisoles de porcelana con tapa. Se siguió un protocolo propio, derivado de la norma ASTM D1762 (ascenso de temperatura a una rampa de 1 °C/min hasta alcanzar los 500 °C, permanencia a esa temperatura por 4 horas y descenso natural hasta alcanzar temperatura ambiente).

*Rendimiento de carbonización (%) = peso carbón / peso madera * 100*

A fines comparativos, para el cálculo de proporción de cenizas y rendimiento de carbonización, se utilizó como base de comparación el peso seco de la madera (secada en estufa a 105 °C por 48/72 horas, hasta peso constante).

Determinaciones en carbón

Densidad aparente relativa (g/cm³). Se trabajó con el carbón en forma de cubos (tal como resultaron de la pirólisis de la madera en la mufla). Fue calculada en base a la norma brasilera NBR 9165/85. Para la cuantificación del volumen húmedo, se sumergieron los cubos de carbón en agua hasta lograr una completa saturación y luego se cuantificó por desplazamiento de fluidos. El peso seco es el obtenido luego de secar los carbones en estufa a 105 °C hasta peso constante.

Densidad aparente relativa (g/cm³) = peso seco / volumen húmedo

Humedad de equilibrio (%). Luego de un período de estabilización adecuado, se tomaron alícuotas de 2 gramos por cada material molido, se llevaron a estufa a 105 °C durante 72 horas y se pesaron.

*Humedad de equilibrio (%) = (peso húmedo - peso seco) / peso seco * 100*

Proporción de cenizas (%). Se tomaron alícuotas de aproximadamente 2 gramos de carbón molido, se colocaron en crisoles sin tapa y se llevaron a mufla, utilizando el mismo protocolo que en el caso de madera. Se realizaron 3 repeticiones por cada material.

*Proporción de cenizas (%) = peso cenizas / peso carbón * 100*

Proporción de volátiles (%). La determinación se realizó empleando mufla eléctrica y siguiendo un protocolo propio. Se trabajó con alícuotas de 1 gramo por muestra de carbón molido, con triplicados por cada material, y se emplearon crisoles de porcelana con tapa.

*Proporción de volátiles (%) = (peso con volátiles - peso sin volátiles) / peso con volátiles * 100*

Carbono fijo (%): Fue calculado con la siguiente fórmula en base a los datos obtenidos:

Carbono fijo (%) = 100 - (Cont. Humedad + Prop. volátiles + Prop. cenizas)

Poder calorífico superior del carbón (kcal/kg). Se llevó a cabo en el mismo laboratorio y siguiendo la misma norma que para madera.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y dendroenergéticas de la madera



La **densidad básica de la madera** osciló entre 0,38 y 0,56 g/cm³, lo cual ubica a estos materiales dentro del rango de maderas livianas (0,35 - 0,50 g/cm³) y semipesadas (0,50 - 0,75 g/cm³). En este último grupo se ubicarían ET, CL, GT31 y EC, mientras que las maderas más livianas corresponderían a EG y EG36, los cuales se separaron estadísticamente del resto de los materiales, conformados por los híbridos GC, ED y BE (Figura 1). La densidad básica de la madera es uno de los principales criterios de selección para genotipos de *Eucalyptus* destinadas a la producción de carbón, ya que una mayor densidad resulta en un aumento en el rendimiento de carbonización para el mismo volumen de madera dentro del horno, además de afectar la calidad para diversos propósitos y facilitar su manejo (Pereira et al., 2012).

Respecto a la **proporción de cenizas de la madera**, ésta varió entre el 0,06 % (CL) y 0,6 % (ED), ubicándose en el rango habitual descrito por la literatura (Figura 1). Para el caso de los híbridos GC y GT y el clon EG36, estos son los primeros reportes de contenido de ceniza, los cuales coinciden con lo reportado habitualmente para *Eucalyptus* (proporciones bajas, menores al 1 %). Este es un aspecto muy favorable para su empleo en la producción de carbón, ya que reduce la carga mineral en el producto resultante (Simetti et al., 2018), así como su uso como dendrocombustible en la alimentación de equipos, tales como calderas. En este sentido, las cenizas reducen el poder calorífico de la biomasa, debido a que no intervienen en su combustión. Además, se pueden acumular en las superficies de los intercambiadores de calor, reduciendo la eficiencia en la transferencia de calor, y pueden causar corrosión de los elementos metálicos de los quemadores (Oliveira et al., 2021). Así, un bajo contenido de cenizas favorece y/o disminuye las labores de limpieza de equipos.

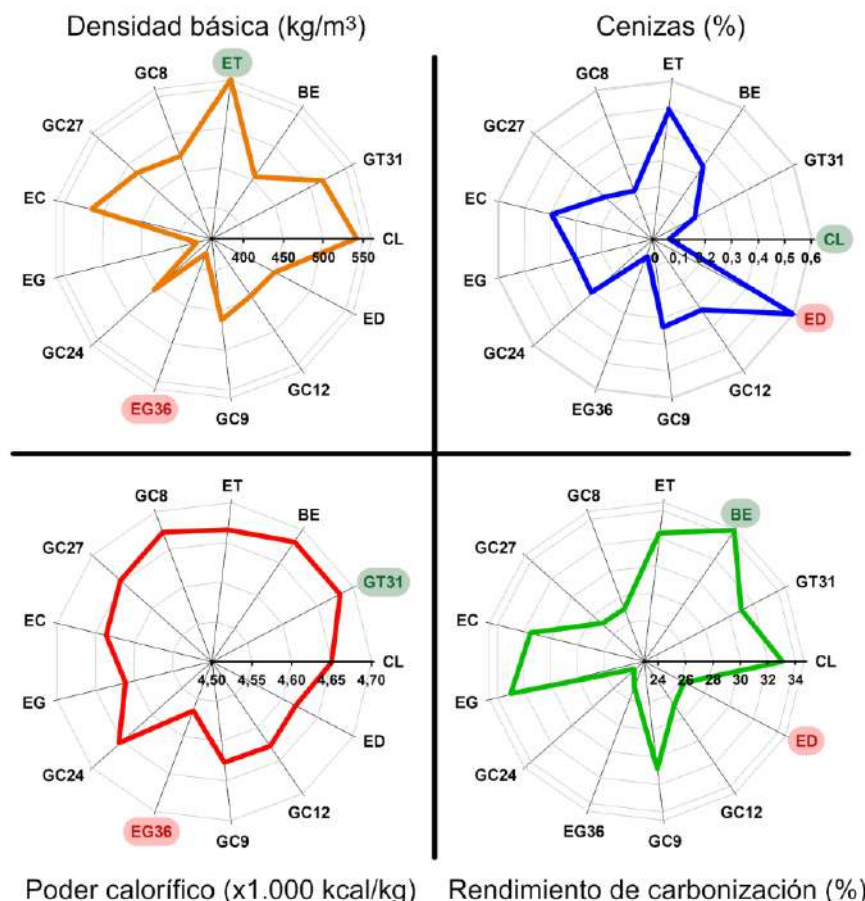


Figura 1. Resultados de las determinaciones llevadas a cabo en madera de 13 materiales del género *Eucalyptus*, incluyendo especies y clones puros e híbridos. La altura de la línea de color indica el valor para esa propiedad de acuerdo con la escala utilizada. Se señalan en color verde los resultados más favorables y en rojo las más desfavorables, de acuerdo con la característica evaluada.

En cuanto al **poder calorífico superior de la madera**, los resultados obtenidos variaron entre 4566 y 4682 kcal/kg, lo cual representa una variación del 2,54 % entre los materiales de mayor y menor poder calorífico superior (Figura 1). Entre los primeros, encontramos GT31, BE, GC8, ET y GC24, mientras



que entre los segundos podemos mencionar EG36, EG, ED, GC9 y GC12. Estos valores de poder calorífico superior coinciden con la bibliografía consultada. El poder calorífico es una expresión de la cantidad de energía liberada en la combustión de un material, expresada por unidad de masa. La bibliografía referente al tema reporta poca variación de esta propiedad para la madera del género *Eucalyptus*, estando principalmente influenciada por la composición química de la madera, en particular el contenido de carbono, hidrógeno, lignina y extractivos, relacionados de manera positiva, y el contenido de oxígeno y cenizas, que la disminuyen (Pereira et al., 2012, 2013; Simetti et al., 2018).

El **rendimiento de carbonización**, es decir, la eficiencia del proceso de transformación de la madera en carbón, osciló entre 23,8 y 34,6 % (Figura 1). Los genotipos que presentaron mayor rendimiento fueron BE, CL, EG, ET y EC, mientras que aquellos ubicados en el extremo opuesto resultaron GC24, EG36, ED, GC12 y GC8. Particularmente para el caso de rendimiento, los trabajos analizados evalúan algunas de las especies aquí estudiadas o clones de las mismas, hallando resultados de similar magnitud. Nuevamente, para los híbridos GC y GT, así como para EG36, estos son los primeros datos de los que se tiene conocimiento. Un rendimiento alto del proceso de carbonización es deseable, ya que aumenta la eficiencia del proceso y la cantidad de producto final, pudiendo considerarse satisfactorios aquellos cercanos al 30%. Sin embargo, además de las características propias de la madera, otro factor fundamental para determinar el rendimiento son las condiciones del proceso que, a su vez, afectan otras propiedades del producto resultante, tales como el contenido de carbono fijo y el poder calorífico (Simetti et al., 2018, Marchesan et al., 2020). En base a esto, si bien los resultados encontrados permiten establecer una valoración relativa (ranking) de los genotipos ensayados, queda pendiente una investigación más detallada acerca del efecto de estas condiciones sobre los materiales testeados.

Características dendroenergéticas del carbón

En cuanto a las propiedades del carbón elaborado con los diferentes materiales, una de las características más importantes es la **densidad aparente relativa**, la cual está determinada por las condiciones de la pirólisis y por la densidad de la madera a partir de la cual se obtiene (Silva et al., 2018; Ramos et al., 2019). Una mayor densidad del carbón, generalmente, aumenta su resistencia mecánica y es una característica fundamental a ser tenida en cuenta cuando su destino es la producción siderúrgica (Ramos et al., 2019). Es por ello que resulta deseable que las densidades sean tan altas como sea posible ($> 0,25 - 0,30 \text{ g/cm}^3$; Andrade et al., 2018; Dufourny et al., 2019). Los resultados obtenidos en este trabajo se encuentran por encima de ese rango, con valores extremos de $0,280$ y $0,431 \text{ g/cm}^3$, con un efecto significativo de los materiales probados (Figura 2). Entre aquellos de mayor densidad se encuentran GC9, EC, ED, GC8, GC27 y ET, mientras que los materiales de menor densidad resultaron EG y EG36. Los valores encontrados coinciden, en gran medida, con aquellos reportados por la bibliografía para diferentes materiales de *Eucalyptus*. Los resultados obtenidos para los híbridos GC y GT31, así como para el clon EG36, son los primeros resultados reportados de los que se tiene conocimiento.

En cuanto a la **humedad de equilibrio**, esta se ubicó entre 7,3 y 10,5 % (Figura 2). Los materiales que presentaron un menor nivel de humedad fueron ET, CL, GC9, EC y GT31, todos ellos por debajo de 9,2 %. En el otro extremo, se ubicaron EG36, ED y EG, con un contenido de humedad superior al 10 %. Los valores hallados se encuentran dentro de los usualmente reportados por la bibliografía, que varían entre 2 y 10 %. De manera análoga a la madera (aunque en un nivel menor), el carbón vegetal es un material higroscópico cuya estructura porosa y gran superficie específica le permiten adsorber vapor de agua, variando su contenido de humedad según las condiciones de humedad relativa del ambiente (Costa, 2020). Esta característica puede verse influida, a su vez, por las características de la madera de origen y los parámetros del proceso de carbonización, como la temperatura final o la tasa de calentamiento (Siebeneichler et al., 2017, Costa, 2020).

Para uso doméstico, existen algunos estándares europeos que establecen límites de referencia para el contenido de humedad del carbón vegetal (7 % la norma belga NBN M11-001; 8 % la norma alemana DIN 51749), mientras que la norma N° 40 de la Secretaría de Agricultura y Abastecimiento de Brasil establece un contenido máximo del 5 %. En cuanto a los carbones elaborados en Argentina, algunos



trabajos reportan valores aceptables entre 5 y 10 % de humedad (De Bedia, 2018). En el caso de la industria siderúrgica, el contenido de humedad es una de las características del carbón vegetal que interfieren directamente en el funcionamiento de los altos hornos, siendo deseable contenidos menores al 7%, si bien suele aceptarse hasta 10%, aunque en estos casos se aplican descuentos por calidad. Sobrepasar estos niveles puede afectar la eficiencia energética, resistencia mecánica, liberación excesiva de gases y retraso en la ignición del carbón (Costa, 2020). A este respecto, la mayoría de los materiales ensayados se encontrarían dentro del rango aceptable tanto para su uso doméstico como siderúrgico. Es necesario remarcar que estos valores fueron obtenidos a partir de muestras molidas, por lo que sería conveniente realizar nuevos ensayos sobre muestras de carbón con dimensiones similares a las utilizadas en esta industria para validar los resultados encontrados.

La **proporción de cenizas** de los materiales analizados osciló entre 0,3 y 2 %, con un efecto significativo de los diferentes genotipos sobre esta característica (Figura 2). La bibliografía consultada presenta un rango de variación similar al encontrado en este trabajo, con valores entre 0,17 y 1,9 %. Al igual que en la madera, las cenizas afectan negativamente el poder calorífico, además de repercutir en las tareas de mantenimiento y limpieza de hornos y calderas. Por otro lado, de acuerdo con Ramos et al. (2019), las cenizas de los materiales de *Eucalyptus* están compuestas principalmente por óxidos metálicos que, durante la producción de acero, son transferidos a la aleación metálica, contaminándola y afectando su composición química. Por lo tanto, los minerales que componen las cenizas pueden afectar las propiedades reductoras de estos materiales. En este sentido, varios autores mencionan que, en siderurgia, el contenido de cenizas del carbón debe ser lo más bajo posible, siendo deseable un contenido en torno o menor al 1%. Si tomamos esto como referencia los materiales CL, GT31, EG36, GC8, GC27 y EG serían aptos para este uso industrial, mientras que EG9 y EG24 (1,1 %) serían marginalmente aptos.

En cuanto a su uso doméstico, un buen carbón vegetal tiene, típicamente, un contenido de cenizas de alrededor del 3%, lo cual dependerá de la especie considerada, la cantidad de corteza incluida en la madera que generó el carbón y la cantidad de contaminación con tierra y arena (De Bedia, 2018). En nuestro continente, la norma N° 40 de la Secretaría de Agricultura y Abastecimiento de Brasil establece como valor de referencia aceptable para el uso doméstico un contenido de cenizas menor a 1,5 % (Marchesan et al., 2020). A excepción de ED, todos los materiales cumplen con dichos valores de referencia. Un dato interesante es que, si bien las cenizas son consideradas residuos, pueden tener aplicaciones industriales.

La **fracción de volátiles** consiste en la cantidad de materia volátil residual en el carbón y se compone principalmente de hidrógeno, hidrocarburos, CO y CO₂. Esta evidenció poca variación entre materiales, si bien presentó un alto valor absoluto (Figura 2). En este sentido, el material que menor contenido de volátiles evidenció fue GC9, mientras que aquel con mayor proporción de volátiles fue ED, los cuales se diferenciaron estadísticamente de los demás genotipos, que se mantuvieron en una situación intermedia. La proporción de volátiles evidenciada por los materiales evaluados, que presentó un rango de variación entre 41,2 y 55,3 %, resulta sensiblemente más elevada que la reportada por la bibliografía para carbón proveniente de *Eucalyptus*. Las diferencias observadas pueden deberse a diferencias metodológicas en el protocolo seguido para la determinación de esta propiedad. En este sentido, más allá de los valores absolutos hallados en este trabajo, resulta interesante el ordenamiento relativo de los diferentes materiales. Estos valores deberían compararse con los obtenidos mediante otro protocolo, a fin de poder establecer una relación entre ambos y confirmar (o descartar) el comportamiento relativo de estos genotipos.

El tenor de volátiles puede relacionarse, por un lado, con el contenido de celulosa de la madera de origen. Durante la pirólisis, parte del carbono de la madera se elimina con los volátiles, por lo que estos y el nivel de carbono fijo varían de manera inversamente proporcional (Pereira et al., 2013). Por otro lado, la proporción de volátiles es afectada por los parámetros del proceso de carbonización, principalmente su duración y la temperatura alcanzada (Castro et al., 2016; Marchesan et al., 2020). Según Frederico (2009, citado por Santos et al., 2016), un alto contenido de volátiles aumenta significativamente la producción de humo, además de una menor eficiencia energética en la cocción. Una alta proporción de volátiles tampoco es deseable para fines siderúrgicos, ya que se pierden por



evaporación y combustión con el oxígeno, siendo recomendables contenidos del 25 % o incluso menores (Pereira et al., 2013; Andrade et al., 2018). Además, al variar inversamente con el carbono fijo, imponen un compromiso a la eficiencia reductora del carbón. Sin embargo, cierta fracción de volátiles es deseable y necesaria en siderurgia, puesto que esta determina la estabilidad de la llama y la velocidad de combustión, promueve un aumento de la permeabilidad de la carga en el alto horno y una disminución de la reactividad del carbón vegetal (Santos et al., 2016).

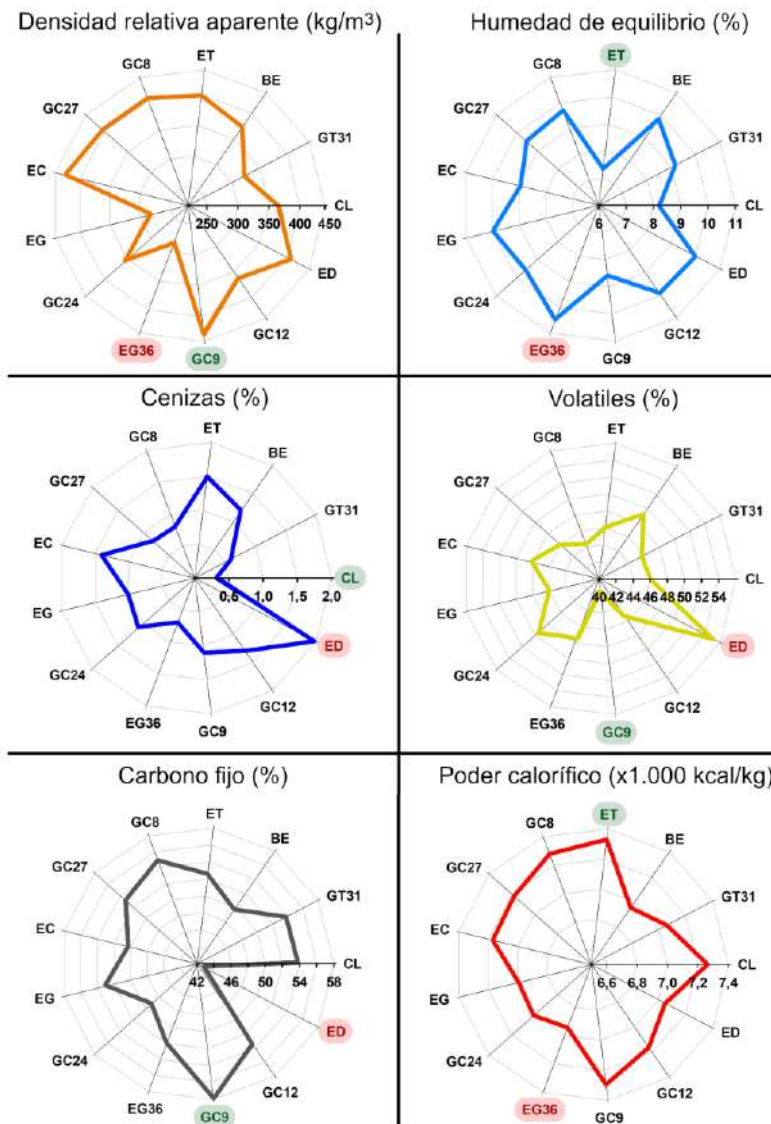


Figura 2. Resultados de las determinaciones llevadas a cabo en carbón de 13 materiales del género *Eucalyptus*, incluyendo especies y clones puros e híbridos. La altura de la línea de color indica el valor para esa propiedad de acuerdo con la escala utilizada. Se señalan en color verde los resultados más favorables y en rojo las más desfavorables, de acuerdo con la característica evaluada.

El **porcentaje de carbono fijo** presentó un rango de variación entre 42,7 y 57,8 %, cuyos extremos estuvieron representados por los mismos materiales que para volátiles (ED y GC9, respectivamente). Estos valores se encuentran por debajo de los reportados en la bibliografía de referencia para diferentes materiales del género *Eucalyptus*. Este resultado es producto de la metodología de cálculo de carbono fijo, como diferencia entre el peso del carbón y los pesos de cenizas y volátiles, y como consecuencia de los altos niveles de volátiles medidos. Si bien es necesario, tal como se mencionó previamente, validar estos resultados, resultan indicativos del ordenamiento relativo de los diferentes materiales probados, con GC9, GC8, CL, GT31 y GC12 como aquellos genotipos que presentaron el mayor contenido de carbono fijo, mientras que ED, GC24, BE y EC fueron aquellos que se ubicaron en el extremo opuesto.



Al igual que las demás características analizadas, el contenido de carbono fijo dependerá de las características de la madera utilizada y las características del proceso de carbonización, principalmente su duración y temperatura final (Castro et al., 2016). Respecto a las características de la madera, en general, el carbono fijo se relaciona positivamente con el contenido de lignina, debido a la estabilidad térmica y alta proporción de carbono elemental de esta última (Pereira et al., 2013; Castro et al., 2016; Santos et al., 2016). Castro et al. (2016) mencionan un rango entre 70-80 % como apto. A mayor contenido de carbono fijo, mayor estabilidad térmica, lo cual hace que se queme más lentamente, con mayor tiempo de residencia y menor volumen ocupado, siendo uno de los indicadores más importantes de la calidad del carbón vegetal como termorreductor en la industria siderúrgica. Para esta función, el carbón actúa como proveedor del carbono necesario para remover el oxígeno del mineral de hierro, por lo que mientras mayor sea su contenido, mayor será la contribución al aumento en la productividad de los altos hornos (Santos et al., 2016; Silva et al., 2018; Marchesan et al., 2020).

Respecto al **poder calorífico superior**, la bibliografía consultada sobre carbón de especies de *Eucalyptus* reporta rangos de variación relativamente amplios, entre 6800 y 8800 kcal/kg. En este sentido, los valores obtenidos en este trabajo se ubican dentro de la porción inferior de estos rangos, con valores extremos de 6945 y 7329 kcal/kg. Entre los materiales testeados, aquellos que presentaron mayores niveles para esta propiedad se pueden mencionar ET, GC9, GC8, CL y GC27, mientras que aquellos ubicados en el extremo opuesto resultaron EG36, BE, EG, GC24 y ED.

El poder calorífico del carbón es superior al de la madera que le dio origen, ya que en esta última la mayoría de los componentes que tienen enlaces poco estables son degradados durante la pirólisis, quedando aquellos que son más resistentes a la acción del calor (Pereira et al., 2013). Es así que, comúnmente, se muestra dependiente del contenido de lignina y extractivos, en forma positiva, y de cenizas, negativamente (Pereira et al., 2013; Santos et al., 2016; Silva et al., 2018). A su vez, existen antecedentes que relacionan esta propiedad con los parámetros del proceso de carbonización (Castro et al., 2016). Un mayor poder calorífico proporcionará, en el caso de su uso en siderurgia, un menor consumo de carbón (insumo reductor) para un mismo nivel de productividad (Santos et al., 2016). Respecto a esta industria, Andrade et al. (2018) establecen que son deseables poderes caloríficos superiores a 7500 kcal/kg.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se logró caracterizar las propiedades dendroenergéticas de la madera y el carbón de diferentes especies, clones puros e híbridos del género *Eucalyptus*. En algunos materiales, tales como GC, GT31 y EG36, parte de los datos que se presentan en este trabajo son los primeros que se reportan para dichos materiales, y se encuentran en etapa de revisión para su publicación en la "Revista de la Facultad de Agronomía", de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP.

Con respecto a la madera, fue posible establecer que los materiales testeados se ubicaron dentro del rango de maderas livianas y semipesadas, con un contenido de cenizas, rendimiento de carbonización y poder calorífico superior en órdenes de magnitud similares a los reportados por trabajos referentes a este género botánico. En cuanto al carbón, se encontraron resultados dispares dependiendo de la variable considerada. En este sentido, los valores de densidad aparente relativa, contenido de cenizas y poder calorífico encontraron correspondencia con aquellos rangos comúnmente reportados para este género, mientras que el contenido de volátiles resultó sensiblemente superior al referido por la bibliografía, lo que, en última instancia, determinó rangos de variación de carbono fijo por debajo de los esperados.

Se destaca la necesidad de continuar con los análisis de estos materiales, empleando diferentes protocolos de carbonización y, especialmente, de determinación de volátiles, a fin de corroborar los valores obtenidos para estas características, las cuales resultan de gran importancia para establecer el potencial dendroenergético para su uso doméstico e industrial.

5. LITERATURA CITADA

ANDRADE, F.W.C.; FILHO, M.T.; MOUTINHO, V.H.P. 2018. Influence of wood physical properties on charcoal from *Eucalyptus* spp. Floresta e Ambiente, 25(3): e20150176. DOI: 10.1590/2179-8087.017615



- CASTRO, A.F.N.M.; CASTRO, R.V.O.; CARNEIRO, A.C.O.; DOS SANTOS, R.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; TRUGILHO, P.F.; DE MELO, I.C.N.A. 2016. Correlations between age, wood quality and charcoal quality of *Eucalyptus* clones. *Revista Árvore*, 40 (3): 551-560. DOI: 10.1590/0100-67622016000300019
- COSTA, L.J. 2020. Relação água-carvão vegetal de eucalipto produzido em diferentes temperaturas. Tesis de doctorado. Universidade Federal De Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 107 pp.
- DE BEDIA, G. 2018. Carbón de Madera Santiagueño: sus usos y calidad. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EEA Santiago del Estero. 5 pp.
- DUFOURNY, A.; VAN DE STEENE, L.; HUMBERT, G.; GUIBAL, D.; MARTIN, L.; BLIN, J. 2019. Influence of pyrolysis conditions and the nature of the wood on the quality of charcoal as a reducing agent. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 137: 1-13. DOI: 10.1016/j.jaap.2018.10.013
- FAO, 2020. Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Colección Documentos Técnicos N°19. Buenos Aires. <https://doi.org/10.4060/ca8764es>
- GORZYCKI, R. 2019. Informes de Cadenas de Valor: Forestal, papel y muebles. Marzo 2019. Año 4 – N° 14. Ministerio de Hacienda. Argentina. 38 pp. ISSN 2525-0221
- MARCHESAN, R.; DE OLIVEIRA, D.N.; DA SILVA, R.C.; DE CARVALHO, L.A.; GOMES, R.T.; ALMEIDA, V.C. 2020. Quality of charcoal from three species of the *Eucalyptus* and the *Corymbia citriodora* species planted in the south of Tocantins. *Floresta*, 50(3): 1643-1652. DOI: 10.5380/ufv50i3.65303
- OLIVEIRA, R.D.S.; Santos, L.T.V.; Melo, S.C.; Chagas, M.P.; Ribeiro, D.; Reis, C.A.F.; Novaes, E.; Sette Jr, C.R. 2021. Wood energy yield for *Eucalyptus* clones growing under seasonal drought-stress in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 154: 106264. DOI: 10.1016/j.biombioe.2021.106264
- PEREIRA, B.L.C.; Oliveira, A.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Carneiro, A.D.C.O.; Santos, L.C.; Vital, B.R. 2012. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. *International Journal of Forestry Research*. 8 pp. DOI: 10.1155/2012/523025
- PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.D.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, A.C.; FONTES, M.P.F. 2013. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal properties. *BioResources*, 8(2): 4574-4592
- RAMOS, D.C.; CARNEIRO, A.D.C.O.; TANGSTAD, M.; SAADIEH, R.; PEREIRA, B.L.C. 2019. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for metallurgical use. *Floresta e Ambiente*, 26(2): e20180435. DOI: 10.1590/2179-8087.043518
- SANTOS, R.C.D.; CARNEIRO, A.D.C.O.; VITAL, B.R.; CASTRO, R.V.O.; VIDAURRE, G.B.; TRUGILHO, P.F.; CASTRO, A.F.N.M. 2016. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. *Ciencia Florestal* 26(2): 657-669. DOI: 10.5902/1980509822765
- SILVA, M.F.D.; FORTES, M.M.; SETTE, C.R. 2018. Characteristics of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones. *Floresta e Ambiente*, 25(3): e20160350. DOI: 10.1590/2179-8087.035016
- SIMETTI, R.; BONDUELLE, G.M.; SILVA, D.A. 2018. Wood quality of five *Eucalyptus* species planted in Rio Grande do Sul, Brazil for charcoal production. *Journal of Tropical Forest Science* 30(2): 175-181. DOI: 10.26525/jtfs2018.30.2.175181



CERTIFICACIÓN DE BONOS DE CARBONO BAJO ESTÁNDAR VSC EN PLANTACIONES FORESTALES DE UNITAN

José Ignacio OTARAN¹

INTRODUCCIÓN

El rápido incremento en el uso de los recursos naturales genera un gran riesgo para el desarrollo a largo plazo. Es imperioso por lo tanto encontrar métodos de producción y modelos de negocio innovadores que coloquen a la sustentabilidad en el centro de las operaciones productivas. Definir una estrategia para enfrentar la problemática del cambio climático es crucial. Varias organizaciones ya han tomado nota de este problema y están dando sus primeros pasos para enfrentarlo.

Es desde esta perspectiva que UNITAN desarrolla una serie de proyectos forestales tendientes a un manejo sustentable de sus actividades, con los cuales se prioriza la conservación de los recursos naturales y la captura y fijación del carbono.

En este contexto, Unitán le solicitó a ProSustentia el desarrollo de un estudio para determinar la viabilidad técnica y económica de certificar carbono bajo el estándar VCS (*Verified Carbon Standard*)² con sus plantaciones forestales en las provincias de Corrientes, Chaco y Formosa.

Los objetivos del estudio fueron:

1. Analizar si el proyecto de plantaciones forestales de Unitán aplica al estándar de certificación VCS y tienen una metodología disponible para su desarrollo.
2. Establecer si tendrá factibilidad técnica de cumplir con el criterio de línea de base y adicionalidad.
3. Definir si puede generar un volumen de créditos de carbono suficiente que justifique avanzar en el proceso de certificación.
4. Determinar los costos del proceso y los potenciales ingresos por la venta de créditos de carbono.

Para ello, se desarrollaron los siguientes análisis:

Análisis de la elegibilidad del proyecto al estándar VCS y a la metodología AR AR-ACM0003: tanto el estándar como la metodología imponen una serie de condiciones y requerimientos que el proyecto debe cumplir para poder aplicar. Los Consultores analizaron estos requisitos para luego contrastarlos con el proyecto y definir así la aplicabilidad.

Análisis de escenario de línea de base y adicionalidad: para estimar el potencial de captura de carbono y la adicionalidad de un proyecto determinado es necesario conocer el escenario que existiría sin la implementación de ese proyecto. De esta forma, los Consultores analizaron el escenario del proyecto previo a su inicio para analizar las posibilidades de demostrar la adicionalidad.

Estimación preliminar del potencial de captura y almacenamiento de carbono del proyecto: en base a información disponible más posibles datos de mediciones de Unitán, se estimó preliminarmente el potencial de captura y almacenamiento de carbono de los proyectos.

Estimación de posibles beneficios por la generación de créditos de carbono: se hizo una estimación de los costos de certificación de los créditos de carbono y sus posibles beneficios en función de los valores de mercado disponibles y las previsiones de evolución en el mediano y largo plazo. Es importante mencionar que este análisis no buscó determinar de forma específica la línea de base, adicionalidad, ni el cálculo preciso de los créditos de carbono. Simplemente presenta una visión genérica sobre la factibilidad y potencial que tiene el proyecto con sus riesgos y oportunidades.

¹ Coordinador de Operaciones Forestales UNITAN SAICA

² El VCS es el estándar con mayor reconocimiento internacional para certificar créditos de carbono en el mercado voluntario (no regulado por el Protocolo de Kioto). <https://verra.org/project/vcs-program/>



SOBRE EL ESTÁNDAR VCS Y EL POR QUÉ DE SU ELECCIÓN

El VCS fue fundado en 2005 por The Climate Group, la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones (IETA), el Foro Económico Mundial y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) para que la estandarización del mercado voluntario de créditos de carbono. VERRA es la organización que administra y opera las certificaciones del estándar VCS.

El VCS es ampliamente apoyado por el mercado de compensación de emisiones de carbono, convirtiéndose en el estándar más importante con más de 1600 proyectos registrados, los que han removido o capturado más de 450 millones de toneladas de CO₂ de la atmósfera.

Es compatible con las metodologías del MDL³ y sus herramientas, habiendo tomado mucha experiencia del mismo, mientras que también permite el desarrollo de metodologías propias. El VCS emite sus propias unidades de carbono verificadas (VCU).

Por otro lado, el VCS ha sido pionero en el mercado de carbono de los proyectos relacionados con los ecosistemas naturales y productivos (forestales, agrícolas y ganaderos), comúnmente denominados AFOLU, siendo el estándar que más metodologías disponibles tiene para este sector, con el 55 % del mercado.

Si bien el VCS se centra en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), viabiliza la certificación de los beneficios ambientales o sociales adicionales que pueda generar un proyecto. Esto lo hace en asociación con el Climate, Community & Biodiversity (CCB) o con Social Carbon.

En relación con los precios de los créditos de carbono, los mismos tienen más variabilidad respecto al tipo de proyecto que al estándar con lo cual no sería un factor a considerar a la hora de seleccionar el estándar de certificación. La principal ventaja de este estándar está dada por el volumen de transacciones que logra y su reconocimiento.

ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS DISPONIBLES BAJO EL VCS

Las metodologías establecen un procedimiento detallado para la cuantificación de los beneficios de la mitigación del cambio climático de un proyecto, proporcionando orientación a los desarrolladores sobre cómo definir los límites del proyecto, establecer la línea de base, evaluar la adicionalidad y fundamentalmente, cuantificar las emisiones de GEI reducidas o capturadas.

El VCS permite el uso de metodologías provenientes de dos fuentes principales: las propias del VCS y las del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto

Durante el relevamiento de metodologías se analizaron todas aquellas disponibles dentro del VCS, es decir las correspondientes al MDL y VCS propiamente dichas.

Para el caso del MDL, las actividades de uso de la tierra y cambio en el uso de la tierra (LULUCF por sus siglas en inglés, equivalente a AFOLU en el VCS) sólo permiten el desarrollo de proyectos de forestación y reforestación, dejando fuera a los proyectos agrícolas, ganaderos y de conservación forestal. La más utilizada para proyectos de plantaciones forestales es la metodología consolidada "AR-ACM003 Afforestation and reforestation of lands except wetlands".

Por otro lado, gran parte de las metodologías propias desarrolladas por el VCS corresponde al sector AFOLU. Dentro de éstas, la mayoría de las ya aprobadas se refieren a proyectos de conservación y manejo forestal (REDD y otros). Para los proyectos de plantaciones forestales, el estándar se nutre de las metodologías aprobadas por el MDL, tomándolas íntegramente con algunas particularidades.

EL PROYECTO FORESTAL DE UNITÁN

Unitán inició las actividades de plantación forestal durante los años 90. En ese primer período, que duró hasta 2007, se enfocó en experimentar a baja escala con plantaciones principalmente de quebracho, y en algunos casos combinados con eucaliptus, sumando un total de 290 ha totales, concentradas en el

³ MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.



departamento de Libertad, Chaco. El objetivo de estas plantaciones fue básicamente demostrar que existe la alternativa de producir tanino de quebrado sin explotar los bosques nativos.

A partir de 2014, retoma gradualmente las actividades de plantaciones forestales, pero recién en los últimos 3 años se incrementa fuertemente el ritmo de plantación. En esta etapa, el foco se puso más en plantaciones de eucalipto con foco en la producción bioenergética (Figura 1).

El plan de la empresa para los próximos años, es incrementar la superficie forestal con dos objetivos concretos. Por un lado, continuar expandiendo el área de producción de quebracho, y por el otro, abastecer su central de generación de energía a biomasa en la planta de Puerto Tirol con plantaciones de eucalipto.

En este sentido la empresa planea sumar aproximadamente 150 ha/año de quebracho por un período prologado (dada la extensión de la rotación de esta especie), que aún no fue definido.

En el caso eucaliptos, dado que el objetivo de las nuevas plantaciones será la producción de biomasa, estos tendrán una rotación de 5-6 años, con lo que se plantará hasta poder cerrar el ciclo entre plantaciones nuevas y viejas. Se estima que eso será hasta 2025, agregando unas 150 ha/año.

Para el presente análisis se asumirá que la empresa sumará desde 2021 a 2025 150 ha/año de quebracho y 150 ha/año de eucalipto.

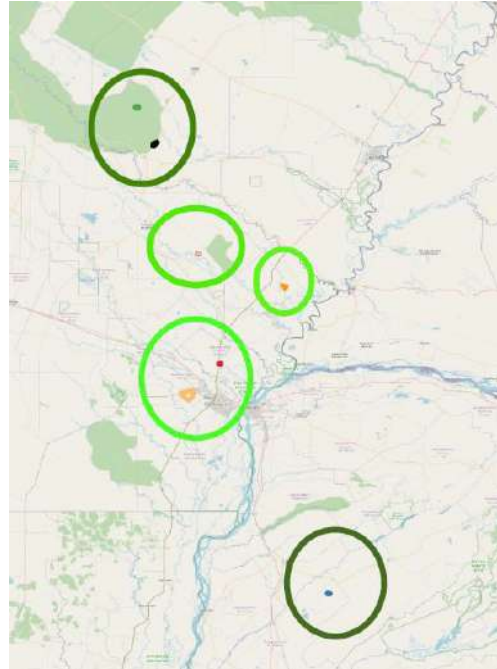


Figura 1. Plantaciones de eucaliptos con fines de bioenergía en las provincias de Chaco, Formosa y Corrientes.

ANÁLISIS DE APLICABILIDAD DE LAS PLANTACIONES DE UNITÁN AL ESTÁNDAR VCS Y LA METODOLOGÍA AR-ACM003

Tanto el estándar VCS como sus metodologías tienen condiciones y requisitos para que un proyecto pueda certificar carbono. Los aspectos principales a analizar son: descripción general de la misma, condiciones de aplicabilidad, demostración de la adicionalidad, cuantificación de las emisiones de GEI, definición de límites del proyecto, identificación de línea de base y el sistema de monitoreo.

En este informe se evaluaron los cuatro primeros puntos. Los demás solo podrán ser analizados si se decidiera avanzar con la certificación del proyecto.

Descripción general: esta metodología permite la forestación y reforestación de cualquier terreno que no sea categorizado como humedal. Las actividades del proyecto que apliquen esta metodología pueden optar por incluir o no la contabilización de otros componentes de carbono tales como madera muerta, residuos y carbono orgánico del suelo.

Condiciones de Aplicabilidad: el proyecto debe confirmar su aplicabilidad a los requerimientos tanto del estándar como de la metodología que use. A continuación, se presentan los requisitos más importantes y se discute como inciden estos en el proyecto de plantaciones forestales de Unitán.

Requisitos del Estándar VCS

1. El inicio de las actividades del proyecto debe haber ocurrido como máximo 5 años antes de su presentación al VCS. Se considera "inicio de actividad" de un proyecto a la primer acción real llevada a cabo en el terreno, por ejemplo, preparación del suelo para plantación.

Para los proyectos forestales, el estándar otorga un plazo retroactivo de hasta 5 años desde que



inicia las actividades hasta que este se presenta para registro ante VERRA, la organización que administra el estándar VCS. Para ello hay que tener en cuenta que el período de preparación del proyecto y su validación puede demorar hasta 1 año. Para el caso particular de Unitán, esto significa que, si se iniciara hoy el proceso de certificación y este demorara un año, solo podrían incluirse en el mismo, aquellas plantaciones que iniciaron en 2017. Las anteriores excederían el plazo máximo de 5 años. De esta forma, en total calificarían 818 ha ya plantadas más 1760 ha proyectadas, sumando un total de 2578 ha totales.

2. Los proyectos deben demostrar que el área donde se desarrollan no está categorizada como bosque según la definición adoptada por el país.

En el caso de Argentina se define como bosques a áreas que tengan: una cobertura de copas de árboles mínima de 22.5%; una superficie continua mínima de 1 hectárea; y una altura mínima de los árboles de 3 metros.

Si al momento de iniciar el proyecto de plantación el área se categoriza como bosque según la definición previa, entonces no es aplicable al estándar. Según lo informado por Unitán, todas las plantaciones desarrolladas en Chaco se instalaron en áreas de pastizales, por lo tanto, cumplen con este requerimiento.

En el caso de Formosa, se describe una situación mixta entre pastizales, arbustales y suelo agrícola. Si ninguna de las 263 ha plantadas entra en la categoría de bosques (según descripción previa y a demostrarse con imágenes satelitales) entonces las 818 has plantadas en Chaco y Formosa cumplen con este requisito. Para las plantaciones futuras, si éstas se hicieran sobre suelos no categorizados como bosques también cumplirían con el requisito.

3. Los proyectos deben demostrar que el área donde se desarrollan no fue transformada o desmontada en los 10 años previos a su inicio.

Mediante imágenes satelitales se deberá demostrar que 10 años antes de iniciarse la plantación, el área no estaba categorizada como bosque. Haciendo una revisión mediante las imágenes provistas por Google Earth, se puede observar que todas las plantaciones del Chaco en principio cumplirían con este criterio. Habría que corroborar luego, con el detalle de lo efectivamente plantado en cada lote desde 2017, que esa área no coincida con un área con presencia previa de bosques.

Requisito de la Metodología AR-ACM0003

La metodología impone solo dos condiciones.

1. La tierra objeto del proyecto no entra en la categoría de humedales

2. Las perturbaciones al suelo⁴, atribuibles al proyecto no superan el 10 % del área en suelos categorizados como: orgánicos⁵, o, de cultivo o pasturas con perturbación restringida por reglamentación local.

Entendemos que tanto los suelos de Chaco como los de Formosa no entran dentro de estas dos categorías. En conclusión, luego de considerar los tres requisitos impuestos por el estándar VCS más los dos de la metodología, de las 1480 ha plantadas hasta la fecha por Unitán en Corrientes, Chaco y Formosa, solo calificarían 687 has. Con respecto a las plantaciones futuras, si todas se encuadraran dentro de estos requisitos, calificarían las 1760 ha proyectadas.

Adicionalidad: la adicionalidad de un proyecto se puede demostrar tanto por un análisis de barreras (tecnológicas, logísticas, comerciales, económicas, etc.) como por un análisis financiero (la tasa de retorno del proyecto no es atractiva en ausencia de los ingresos por la venta de créditos de carbono).

⁴ "Perturbaciones del suelo" se refiere a cualquier actividad que produzca una disminución de carbono orgánico del suelo (SOC), por ejemplo: arado, escarificación, excavación de pozos y zanjas, remoción de tocones, etc.

⁵ Según FAO, ricos en materia orgánica y residuos vegetales poco descompuestos. Se desarrollan en zonas donde la materia orgánica se acumula en la superficie sin llegar a descomponerse en consecuencia de bajas temperaturas (climas Boreales) o de una saturación prolongada del suelo (en los Trópicos Húmedos).



Se elegirá el análisis que tenga los argumentos más fuertes para demostrar la adicionalidad.

Además de estas dos opciones, los proyectos innovadores, que no se han desarrollado antes en la región, pueden demostrar la adicionalidad por ser los primeros en su tipo (*first of its kind*). Para demostrar esto, es necesario hacer primero un análisis a nivel nacional, y si existen proyectos en otras áreas diferentes (agroecológica o productivamente), entonces se puede limitar el análisis a la región del proyecto.

Para el caso del proyecto de Unitán, este se desarrolla en zonas de baja tradición de plantaciones forestales, como se observa en las siguientes imágenes de macizos implantados y de plantaciones realizadas en la última década (Figura 2).

Según los datos de la Dirección Forestal del Ministerio de Agroindustria⁶, en los cinco departamentos donde se ubican las plantaciones, solo se desarrollaron con planes de la ley 25080 unas 375 ha. Es decir, la actividad forestal en estos departamentos fue ínfima cuando se compara con las 385 mil ha que se plantaron en el país en ese mismo período; esta no supera el 0,1 %.

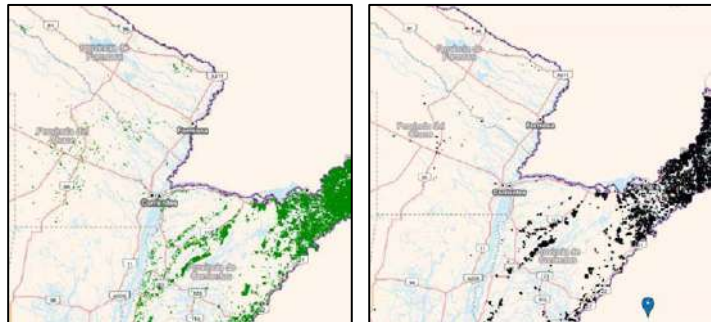


Figura 2. Macizos implantados (izq.) y plantaciones realizadas en la última década (der.).

A esto se suma que los dos tipos de plantaciones desarrolladas por Unitán, quebracho plantado en macizos y eucalipto en densidades para uso energético, no tienen experiencia previa no solo en la provincia sino en gran parte del país. Esto podría utilizarse para argumentar proyectos “primero en su tipo”. Por el lado de las barreras, también tendría posibilidades de demostrarla mediante argumentos tecnológicos como por ejemplo desconocimiento del impacto productivo del proyecto en el mediano y largo plazo, etc.

Por último, por el lado financiero, si el flujo de fondos del proyecto fuera menor al de la situación previa (agricultura o ganadería) también podría demostrar la adicionalidad.

Todos los argumentos previos permiten inferir que el proyecto no tendría inconvenientes en demostrar la adicionalidad.

Conclusiones sobre la viabilidad técnica de certificar emisiones

Como se discutió previamente, el proyecto de plantaciones forestales de Unitán en principio cumpliría con los requisitos exigidos no solo por la metodología sino también por el estándar. Quedará confirmar, a través de análisis más detallados, que parte del total de las plantaciones calificaría en función de los condicionantes discutidos previamente.

Con respecto a la adicionalidad, requisito fundamental de cualquier estándar de certificación de carbono, el proyecto tendría argumentos suficientes para demostrarla.

Análisis del potencial de captura y almacenamiento de carbono del proyecto: Para todo proyecto que busca certificar reducciones de emisiones se deben determinar dos escenarios diferentes: uno de línea de base SIN proyecto y otro CON proyecto. La comparación de emisiones entre ambos escenarios determinará el potencial de reducciones de emisiones del proyecto.

- Escenario de línea de base (o Sin Proyecto): representa las emisiones de GEI que ocurrirían en un área específica durante un período determinado si no se implementara el proyecto en cuestión. En el caso de una plantación forestal sobre pasturas naturales, se asume que las emisiones y capturas de CO₂ están estabilizadas.

⁶ <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/ley-25080-montos-otorgados-y-superficies-promocionadas/archivo/a548d735-6533-4009-b0cd-568c13ad0695>.



- Escenario Con Proyecto: constituye las reducciones de emisiones GEI y las capturas de carbono generadas por las actividades propuestas como parte del proyecto. En el caso de las plantaciones forestales, se refiere al incremento de carbono en la biomasa aérea y subterránea de los árboles. Es entonces esta la que debe ser contabilizada para poder determinar el potencial de captura de un proyecto forestal. Resultado del análisis del potencial de reducciones de emisiones.

La proyección de captura de carbono se basa en las curvas de crecimiento ($m^3/ha/año$) de una determinada especie, en función del manejo y del sitio donde se desarrolla. De esta forma, para las plantaciones de Unitán, a modo de simplificar el análisis, se establecieron tres curvas de crecimiento diferentes, dos para eucaliptos (considerando densidades de plantación distintas) y una para quebracho.

Para el caso de los eucaliptos, en base a la expectativa de rendimiento provista por la empresa ($m^3/ha/año$), se modelizó el crecimiento usando el modelo SIS Euca del EMBRAPA, adecuando las curvas a las condiciones locales. Para el caso del quebracho, en base a datos de crecimiento de las propias plantaciones de Unitán, la curva de crecimiento se proyectó manualmente.

En base a esas curvas, y aplicando las fórmulas de cálculo establecidas en la metodología ARM0003, se realizó la proyección de captura de carbono de las plantaciones. Para ello se tomaron una serie de supuestos. El más importante tiene que ver con la duración del proyecto. El VCS establece una duración mínima de 20 años, pero aconseja extenderlo lo más posible para tener una proyección de captura de carbono más confiable. Dado que el quebracho tiene un turno de corta extenso, se decidió llevar la proyección a 40 años.

Por otro lado, se asume que las áreas plantadas con eucaliptus tendrán una rotación de 6 años y que luego del corte, seguirá bajo el mismo esquema de producción hasta el final del proyecto, ya sea con manejo del rebrote o replantación. Estos supuestos permitieron realizar las proyecciones para las dos especies que se presentan en la Figura 3.

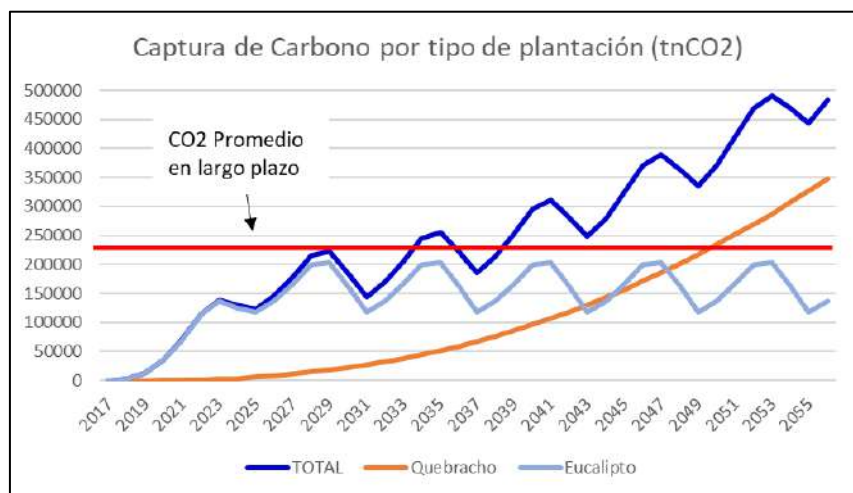


Figura 3. Proyecciones de captura de carbono para eucalipto y quebracho

Como se observa en la Figura 3, el CO_2 capturado por el quebracho se va acumulando lentamente, pero de forma creciente, debido a su bajo ritmo de crecimiento. Para el caso de los eucaliptos, la curva muestra una tasa de captura alta al inicio que luego se hace muy variable dada por la extensión de las rotaciones. La curva azul muestra la sumatoria de las dos especies, alcanzando un total de casi 500 mil t CO_2 al final del proyecto.

Es importante mencionar en este punto, que la contabilización de carbono para su certificación no se basa en la cantidad máxima de CO_2 acumulado durante la vida del proyecto, sino en el valor de acumulación promedio durante ese período. Para el caso en análisis, ese valor promedio fue de 245 mil t CO_2 , como lo muestra la línea roja del gráfico.

A ese valor, el estándar exige que se aplique un factor de corrección para garantizar la permanencia del carbono. Esto es un % de reserva, que no se podrá disponer hasta el final del proyecto, dependiendo



de los riesgos del proyecto, este podrá rondar el 10 %. Entonces, el valor de créditos de carbono disponibles sería de 220 mil t CO₂. Estos créditos se irán generando a medida que se vaya capturando el carbono en las plantaciones. En la proyección hecha para Unitán, esto ocurriría cuando la curva azul se cruza con la línea roja, es decir, la mayor parte de los créditos de carbono se generarían en los 10 primeros años.

En la Figura 4 se muestra la proyección desagregando por período de plantación. Puede verse el peso relevante que tendrán las futuras plantaciones de quebracho en el total del proyecto.

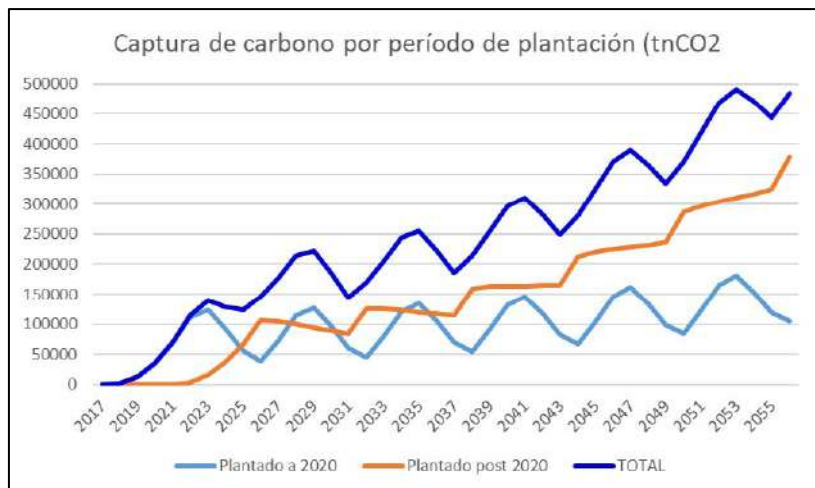


Figura 4. Proyección de la captura de carbono por periodo de plantación

COSTOS DE CERTIFICACIÓN Y POTENCIALES INGRESOS POR LOS CRÉDITOS DE CARBONO

Los costos pueden variar en función de los servicios que se contraten y las partes con quien se trabaje. Se detallan a continuación los principales costos que habrá que tener en cuenta a la hora de decidir avanzar con la implementación de un proyecto de carbono.

Costos directos *	Parte Involucrada	Valores estimados (USD)	Comentario
Desarrollo del PD (Documento de Proyecto)	Consultora	15.000 – 20.000	Estudio de línea de base, adicionalidad, plan de monitoreo, etc.
Validación como VCS	Auditora acreditada por VCS	10.000 - 15.000	Se puede juntar la Validación con la primera Verificación reduciendo costos.
Verificación periódica	Auditora acreditada por VCS	7.500 – 10.000	Periodicidad a elección del Proyecto, por lo general cada 3-5 años
Monitoreo periódico	Consultora	5.000 – 7.500	Periodicidad a elección del Proyecto, por lo general cada 3-5 años
Emisión de VCU	VCS	0,1 / VCU	Tarifa cobrada por VCS

*desde preparación del proyecto hasta la emisión de los créditos

A estos costos habrá que adicionarles aquellos relacionados con el muestreo y medición de carbono en las plantaciones (inventario forestal).

Es importante mencionar que, para tener el proyecto *Registrado*, es decir habilitado para medir y certificar los créditos, solo es necesario incurrir en los costos de desarrollo del documento del proyecto y la validación. Los costos de monitoreo y verificación se pueden postergar hasta el momento que se juzgue conveniente (ej: una mejora en los precios del mercado).

Ingresos por créditos de carbono

Los ingresos dependerán exclusivamente del volumen de créditos de carbono y precio logrado.



El volumen variará con la tasa de crecimiento real de la plantación y la duración del proyecto. Según las estimaciones previas se alcanzaría un volumen de 220 000 créditos de carbono en los primeros 10 años del proyecto.

El precio dependerá mucho de la evolución del mercado. Los créditos de carbono provenientes de proyectos forestales tienen una valorización mayor que créditos provenientes de otro tipo de proyectos por los co-beneficios que estos generan más allá de la mitigación del cambio climático. Entre ellos la preservación de la biodiversidad, la mejora en la calidad del aire y del agua, la protección de los suelos y cuencas, la generación de empleo y desarrollo local.

En el mercado voluntario, según el último relevamiento realizado por Ecosystem Marketplace⁷, la publicación más reconocida en el sector, menciona valores promedio para proyectos forestales de 4.3 USD/t CO₂. Estos valores son altamente variables en función del tipo de proyecto logrando mayores precios cuanto más co-beneficios generen. Estos valores son para el año 2019. Las proyecciones de la mayoría de los especialistas del mercado hablan de un crecimiento en los valores que alcancen o superen los niveles promedio del Protocolo de Kioto, de 15 USD/t CO₂.

Tomando un valor factible de 10 USD/t CO₂, el proyecto podría alcanzar ingresos de USD 2,2 millones por la venta de créditos de carbono. Sin perjuicio de lo anterior, el valor de los créditos dependerá de su estrategia de venta, y del valor de los créditos por condiciones de mercado en su fecha de emisión.

COMENTARIOS FINALES

Cuando se analiza la posibilidad de certificar créditos de carbono de un proyecto, el foco se centra en tres aspectos principales: la disponibilidad y aplicabilidad a una metodología específica, la adicionalidad del proyecto y el potencial de generación de créditos de carbono.

Como se analizó previamente, el proyecto de plantaciones de Unitán cuenta con una metodología disponible bajo el VCS para su desarrollo y ésta sería aplicable.

Con respecto a la adicionalidad, como se discutió, el proyecto presentaría las condiciones adecuadas para demostrarla siendo este otro punto favorable.

Y finalmente, en relación con el potencial de generación de créditos de carbono, el volumen estimado correspondería a un proyecto mediano, con una generación anual que rondaría las 20 mil t CO₂ en los primeros 10 años, convirtiéndolo en un proyecto interesante y con buen potencial.

⁷ State of the Voluntary Carbon Markets 2019, Financing Emissions Reductions for the Future. Ecosystem Marketplace



DESCRIPCIÓN DE LA CADENA FORESTO INDUSTRIAL DE PINO DESDE UNA PERSPECTIVA DE MERCADO E IMPACTO ECONÓMICO

Pedro M. BOTTA OLACIREGUI¹

RESUMEN

El presente trabajo es una síntesis de un estudio de la cadena de comercialización de productos forestales desde el productor hacia el mercado local e internacional, haciendo un foco en la madera de pino para uso sólido. El objetivo es describir e identificar el impacto económico de la cadena foresto industrial desde una mirada del mercado de exportaciones de rollizos, aserrados y remanufacturas del cultivo de pino en la Mesopotamia Argentina. El trabajo expone la cadena forestal según el nivel de agregado de valor de los productos de exportación. Parte de la información contenida en este informe se realizó en el marco del Programa de Sustentabilidad Forestal de la Dirección de Proyectos y Oportunidades (DIPROSE) perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Luego de la realización del análisis de antecedentes, de la información disponible, y en base a entrevistas realizadas a diferentes actores calificados de la cadena, se identificaron los problemas comunes que afectan la competitividad, así como las oportunidades. Aún con altísimos costos logísticos e ineficiencias productivas, el sector ha evolucionado en las actividades que permiten la exportación de productos. Con importantes inversiones en equipamiento y tecnología, se dimensiona un crecimiento significativo de las exportaciones durante los últimos años.

Palabras clave: *actores, costos, desarrollo, exportación*

1. INTRODUCCIÓN

La cadena foresto industrial de pino ha sufrido grandes cambios en la última década en Argentina. Desde el productor primario hasta la exportación, los diferentes eslabones se han transformado significativamente. Elementos como la genética forestal de avanzada, el manejo silvicultural de precisión, el uso de maquinaria y equipamiento moderno tanto para la producción de rollizos como para la industrialización de maderas, así como las formas de comercializar y la generación de nuevos productos y mercados. El sector participa en una proporción del 1,2 % del VAB, representando un 1,4 % del empleo registrado y el 1 % de las exportaciones. La superficie total forestal cultivada en Argentina se estima en 1,3 millones de hectáreas, la cual se ubica principalmente en la región mesopotámica: los dos cultivos predominantes de las plantaciones suman un total de 983 970 hectáreas, las cuales corresponden 708 426 hectáreas a la especie de pino y 275 544 a la especie de eucalipto. Según el último censo nacional de aserraderos, la región mesopotámica posee una capacidad instalada de 5 036 013 metros cúbicos de madera aserrada, con un 44 % de capacidad ociosa y con 766 aserraderos que representan el 37 % del total nacional, consumiendo un total de 7 718 969 metros cúbicos de madera en rollo de pino.

El sector mantiene un déficit histórico en su balanza comercial, llegando a superar los 1500 millones de dólares durante el año 2011. Durante la década 2010-2020 las exportaciones de pino han incrementado su cantidad, así como los mercados destino. Para las posiciones arancelarias en estudio la madera de pino jugó un papel protagonista al participar, durante los últimos años, en una proporción mayor al 90% de las operaciones en cantidades y valores. Desde el análisis histórico, la operación más novedosa resulta la comercialización de madera en bruto hacia los mercados de China e India que comenzaron a partir del año 2018.

¹ Consultor independiente. Responsable del Área Foresto Industrial en AZ GROUP



2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se inició el 1 de agosto del 2021 con una revisión de antecedentes y un estudio profundo de información relacionada a la temática, con la cual se generó una base de datos a procesar. Con ella se confeccionaron las tablas, los gráficos y mapas presentados en el documento final. En una segunda etapa que comenzó desde el 1 de septiembre y el 30 de noviembre 2021 se realizaron 20 entrevistas a informantes calificados con el objetivo de conocer de mano de los actores las actividades de exportación con sus oportunidades y desafíos. Se seleccionaron informantes que fueran parte de esta cadena, de manera particular e institucional, contactando a productores, industriales, exportadores, contratistas, consorcios y cámaras. Debido a complicaciones impuestas principalmente por las restricciones que generó la pandemia covid-19, es que el tiempo de intercambio se extendió hasta fin del año 2021. El formato del mismo se basó en un cuestionario de preguntas las cuales fueron respondidas en diferentes instancias: entrevistas personales, llamadas telefónicas, comunicación por correo electrónico y reuniones “en línea” a través de las plataformas Meet o Zoom. El estudio se complementa y actualiza con información de los últimos años (2020-2021) para presentar en las Jornadas Forestales de Entre Ríos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRODUCTORES: Durante el período 2010-2020 los productores de pino fueron perdiendo rentabilidad hasta resultar nula o incluso negativa: los precios percibidos durante esta década rondaron los 10 U\$D por tonelada puesta sobre camión, según productos y calidad; mientras tanto los productores de eucalipto operaron entre los 30 U\$D. Muchos establecimientos decidieron cambiar el uso del suelo por el cultivo de eucalipto o yerba según aptitud del sitio; optar por la producción de resina e incluso por el abandono de la producción.

EMPRESAS DE SERVICIOS: Para la actividad de cosecha –elaboración y carga- los actores presentan gran variabilidad según el formato de trabajo que posean. La tarifa de este servicio está relacionada con la eficiencia propia del proceso de cosecha y el precio del producto a elaborar; los costos están relacionados directamente con los precios del combustible. Dentro de este eslabón incluimos el servicio de “manipuleo”, requerido en todos los aserraderos para carga y descargar el ingreso y salida, así como también para la exportación de rollizos en las cargas sobre vagones de la línea ferroviaria. Se exponen las principales variables que componen este eslabón, según relevamiento:

- ✓ Costo estimado en 3 dólares por tonelada;
- ✓ 1 operario por maquinaria;
- ✓ 2 a 3 equipos por estación ferroviaria;
- ✓ 5 a 10 equipos para la carga en centro de acopio o puerto destino.

TRANSPORTE: Para la vía terrestre de los productos de aserrado y remanufactura, el costo estimado aportado por el relevamiento es entre 850 y 1000 dólares por contenedor de 50 metros cúbicos, según distancia a puerto de la región norte de Corrientes y Misiones. Cabe destacar que algunas plantas realizan aduana en origen y comienza el flete internacional desde la zona de producción, mientras otras realizan aduana en la localidad del puerto de embarque, que para este caso sería el Puerto de Buenos Aires. Para los productos de madera en rollo, el costo estimado por camión de capacidad de 30 toneladas, es de 450 dólares principalmente basado en la ruta desde el sur de la provincia de Corrientes hasta el Puerto de Concepción del Uruguay. Cabe incluir una descripción de la vía ferroviaria, que durante los últimos años inició la renovación de 146 kilómetros de vías de la línea Urquiza Cargas entre Santo Tomé y Garupa. Este avance permitió en parte el traslado de rollizos desde el sur de la provincia de Corrientes hacia los puertos entrerrianos. Para dimensionar la operación, durante el 1° semestre del 2021 se transportaron un total de 226.000 toneladas de mercadería diversa. En los últimos años, se transportan un promedio anual de 155 000 toneladas de rollizo de pino desde las localidades de



Tapebicua, Santo Tomé y Gobernador Virasoro hacia el Puerto de Ibicuy². Representan un 33 % de las cargas realizadas por la empresa, y según tarifa vigente se estimó que sólo el pino generó un ingreso de aproximadamente 200 millones de pesos por año. Para esta opción también hay que incluir el costo de un flete corto, desde el campo hasta la estación de carga ferroviaria y su equipo de manipuleo y carga hacia los vagones.

INDUSTRIA: La industria de aserrado da empleo directo a 25 381 personas en todo el país; de este monto la región mesopotámica contaba en 2015 con 14 409 empleos. Se trata de diferentes categorías como: personal de producción, técnicos, personal de mantenimiento, administrativos, transportistas y propietarios activos. Según lo expuesto en la descripción de la etapa industrial, los exportadores de aserrados y remanufacturas tienen que afrontar altos costos logísticos y un difícil panorama de legislación laboral. Por estas causas es que muchos indicaron en las entrevistas que deciden invertir principalmente en agregar valor, es decir, en capacitar al mismo personal e incorporar procesos o tecnología de avanzada. De esta manera, los productos aumentan su valor individual y afrontan superadoramente los costos fijos de energía, estructura y transporte, o cualquier otra deficiencia de la cadena. En el caso de la opción de aumento de escala, el industrial debe sumar invertir principalmente en el crecimiento de sus instalaciones y el aumento del personal o los turnos de producción. Resulta una opción válida, pero muchos la rechazan por la incertidumbre o el desincentivo que la legislación laboral les genera en el momento de analizarla.

Según la estructura de diferentes industrias de aserrado, se confeccionó un cuadro para resumir tres modelos representativos de producción, y dimensionar las diferentes realidades de la etapa industrial:

Cuadro 1. Costos de producción de tres aserraderos modelo de pino

Producción mensual	5000 m ³ /mes	5000 m ³ /mes	25 000 m ³ /mes
Patrimonio forestal	500 hectáreas	No posee	3000 hectáreas
Tipo de madera	Verde y seca	Seca	Seca
Costo de materia prima (rollizo)	30 U\$/m ³	35 U\$/m ³	50 U\$/m ³
Costo de operación planta	40 U\$/m ³	25-40 U\$/m ³	55 U\$/m ³
Costo secado	50 U\$/m ³	40 U\$/m ³	28 U\$/m ³
Costo directo total	70 U\$/m ³	100 U\$/m ³	133 U\$/m ³
	Madera verde	Maderas centrales	Madera seca
	120 U\$/m ³	115 U\$/m ³	
	Madera seca	Maderas laterales	

EXPORTACIONES: Durante la década 2010-2020 las exportaciones de pino han incrementado su cantidad, así como los mercados destino, representando una proporción mayor al 90 % de las operaciones en cantidades y valores comercializadas. Desde el análisis histórico, la operación más novedosa resulta la comercialización de madera en bruto hacia los mercados de China e India que comenzaron a partir del año 2018. El período 2016-2020 expone claramente el diferencial que aportan las exportaciones de rollizos de pino, que opera con una cantidad inicial de 60 000 toneladas en el año 2018 hasta consolidar una cantidad promedio de 550 000 toneladas por año durante 2019, 2020 y 2021. Para el caso de la madera aserrada, aun siendo un producto de comercialización histórica por parte del complejo foresto industrial mesopotámico, también se destacan ventas hacia los mercados asiáticos, principalmente lo referido a tablas de bajo valor agregado. Durante los primeros 5 años del período estudiado se registran oscilaciones de valores entre 20 y 40 millones de dólares por año y es notable el incremento en los posteriores 5 años alcanzando los 70 millones de dólares de ingreso anual. Los países que compran madera aserrada de Argentina son principalmente China, Vietnam, Estados Unidos y un grupo de países de Centro América en los cuales se destacan República Dominicana y México. Si continuamos con productos de mayor valor agregado (maderas referidas a la posición 4409 y 4418) muestran una dinámica de ingresos anuales por exportación similares a la madera aserrada rústica, pero con particularidades propias de otro mercado. En primer lugar, destaca un mayor precio

² Consulta personal. Información aportada por referentes del Belgrano Cargas vía correo electrónico.



unitario que triplica en promedio el de las operaciones de la posición arancelaria 4407, pero que representa una cantidad comercializada – en toneladas - marcadamente inferior. El país destino que protagoniza gran parte de las ventas es Estados Unidos de América, seguido por Canadá. Los ingresos anuales comienzan la década con un valor inferior a 25 millones de dólares y finalizan el 2020 con un récord histórico de 35 millones de dólares.

Cuadro 2. Composición del Precio FOB

Etapa	Rollizo	Aserrado	Remanufactura
Primaria	18%	13%	10%
Transporte a Planta/ Acopio / Tren	21%	22%	20%
Industrial	0%	35%	45%
Transporte a puerto	43%	20%	15%
Gastos administrativos exportación y carga	18%	10%	10%
Precio FOB **	USD 110	USD 270	USD 710

* Para la elaboración de 1m3 de madera de pino aserrada, se asume una recuperación de 45% del pino verde. ** Alta variabilidad según la calidad, se toma como ejemplo un producto de mayor exportación.

Son muchas las mejoras de infraestructura y transporte necesarios para lograr bajos costos logísticos: el sector requiere puertos, líneas ferroviarias y habilitación de vehículos bitrenes. En parte si la exportación de rollizos facilita de alguna manera la expansión de la línea ferroviaria hacia la zona núcleo foresto industrial, podríamos concluir que colabora en esta mejora esperada, en el crecimiento de la empresa ferroviaria, porque contrata más del 30 % de los servicios que opera la línea. A su vez, desde el punto de vista de los industriales exportadores, varios referentes consultados consideran que el flete ferroviario lograría disminuir los costos de la exportación de contenedores de aserrados y remanufacturas hacia el puerto de Buenos Aires. A continuación, se presentan los resultados de las entrevistas a los diferentes actores que representaron los eslabones de la cadena de comercialización de maderas:

Cuadro 3. Resumen de respuestas aportadas por actores de la cadena foresto industrial de pino

Sector	Causas que disminuyeron competitividad 2010-2020
Primario	<ul style="list-style-type: none"> • Los precios de madera en rollo han bajado durante los últimos 15 años; • Baja o nula participación en la fijación de precios; • Altos costos de transporte; • Atrasos en el cobro del reintegro económico previsto por la Ley 25.080; • Baja o nula posibilidad de venta de madera en rollo “fina” que posibilitaría ingresos intermedios y raleos oportunos;
Industria de aserrado	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de la energía; • Bajo estímulo para contratar personal y aumentar capacidad instalada por leyes laborales vigentes; • Poca capacidad de financiación y falta de créditos acordes al sector; • Preocupación por futuro abastecimiento de materia prima, desincentiva inversiones;
Empresas de servicio	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones para comprar equipos por falta de financiamiento y complicaciones en las operaciones de importación.
Exportador o Trader	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de transporte y logística; • Falta de infraestructura; • Impuestos

4. CONCLUSIONES

El cultivo forestal en Argentina se ubica mayoritariamente en la Mesopotamia, que abarca las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos, y contiene la gran mayoría de los actores foresto industriales del país. Lo que podríamos identificar como la “zona núcleo” forestal de Argentina, se compone por miles



de personas que forman una misma economía regional ha generado un gran desarrollo local y colaborado en el arraigo y fortalecimiento de poblaciones urbanas y rurales.

El sector foresto industrial es una evidencia de una sinergia pública-privada mantenida durante décadas en donde las acciones han desarrollado una cadena de valor que en la actualidad representa una altísima cantidad de empleo y agregado de valor desde una economía regional que inicia en las provincias mesopotámicas y continúa hacia el resto del país y el mundo.

Sin embargo, hay una amplia tarea en conjunto para seguir desarrollando el potencial sectorial: en cuanto al transporte y la logística, el multimodalismo es la necesidad más urgente para eficientizar y alentar el uso de cada modo en relación con sus capacidades técnico-económicas más competitivas. La creación de centros eficientes de transferencia de cargas, gestionados con moderna tecnología y donde las ventajas comparativas de los diferentes modos de transporte intervinientes queden en relevancia. Para resumir, el transporte carretero, ferroviario y fluvial son un complemento necesario para lograr que la actividad de exportación realice un salto de productividad y seguridad.

La exportación de rollizos desde los establecimientos productores hacia los puertos será económicamente viable en zonas alejadas de los centros de industrialización o para cultivos de pino de edad avanzada. El incremento del precio del pino en el mercado interno, durante los últimos 2 años, genera que los productores opten por comercializar hacia las industrias locales. La producción de aserrados y remanufacturas de pino representan una actividad que, aún con varios altibajos, durante los últimos 10 años ha incrementado notablemente su participación en las exportaciones argentinas. Durante la reciente suba de precios internacionales, el sector demostró un sorprendente dinamismo para volcar sus productos hacia diferentes mercados.

5. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- APF, F. 2021. Aglomerado Productivo Foresto Misiones y Corrientes.
- CORRIENTES, A. P. 2021. Relevamiento de Aserraderos. Provincia de Corrientes.
- I-BC-S.R.L. 2018. Actualización del inventario forestal de bosques implantados en la Provincia de Corrientes. Provincia de Corrientes.
- INVERSORES, C. F. 2018. Actualización del inventario forestal de bosques implantados en la Provincia de Corrientes. Provincia de Corrientes.
- INTA CONCORDIA. 2003-2022. Planilla de Precios Forestales de la Región NE de Entre Ríos.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, G. y P. 2017. Inventario Nacional de Plantaciones Forestales. Provincia de Entre Ríos.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, G. y P. 2018. Informe del relevamiento censal en la Provincia de Misiones. Censo Nacional de Aserraderos.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, G. y P. 2018. Resumen 2018, Actividad Foresto Industrial. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, G. y P. 2021. Relevamiento de la industria de aserrado 2018. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA, P. d. 2017. Inventario Nacional de Plantaciones Forestales. Provincia de Entre Ríos.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA, P. d. 2018. Censo Nacional de Aserraderos. Provincia de Misiones.
- MISIONES, U. N. 2009. Dinámica de las Exportaciones Forestales en la Provincia de Misiones. Provincia de Misiones.

AUSPICIA LA
XXXVI JORNADA FORESTAL DE ENTRE RÍOS



**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**



Servicios Integrales 
si.concordia 

TALLER
FRENOS
REPUESTOS



SERVICIO
MECÁNICO
DE CAMIONES
Y ACOPLADOS



 345-4321539/6020934

 CONCORDIA, ENTRE RÍOS

El Curupi

VIVERO FORESTAL

Eucalyptus - Casuarinas -
Pinos (elliotti/tadea)

Servicios Forestales



Colonia Yerua Norte

Concordia - Entre Ríos

3454143845 - 3454035292

viveroforestalelcurp@gmail.com



**Cuando la calidad
marca la diferencia,
la madera es de
Hambis.**



Ruta 14, km 222. Pedernal. Entre Ríos.
54 9 3454 33 2838
aserraderoambis.com.ar
AserraderoHambis
@aserraderoambis

Aserradero
HAMBIS
Pensando en la construcción





Secretaría de Desarrollo Foresto Industrial

Dirección de Recursos Forestales

CORRIENTES

***Siempre acompañando
a las
Jornadas Forestales
de Entre Ríos***



CORRIENTES

CÁMARAS ASOCIADAS



www.faima.org.ar



DASSPLASTIC®
del Mercosur S.R.L.



Tubetes

Tubetes para producción forestales, cítricos, hortícolas, etc. Desde 45 CC hasta 25 litros de capacidad.

Bandejas

Producimos bandejas para todos los tubetes con capacidades de producir cualquier necesidad que tenga.

¿Querés más información?

www.dassplastic.com.ar

+54.11.4755.7513

San Martín 1100 - Buenos Aires

info@dassplastic.com.ar



Ittermann



SEGURIDAD INDUSTRIAL

ventas@ittermannseguridad.com.ar



Tel: (0345) 4221585 / 4214317 3454127603 @Ittermannseguridad



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 y a la industria y servicios asociados. La Asociación Forestal Argentina posee regionales en zonas de máximo desarrollo forestal.



@AFOAARG



www.afoa.org.ar

correo@afoa.org.ar

Regional Rio Uruguay: afoaru@gmail.com

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.



Al comprar este producto ayudas al cuidado de los bosques del mundo. FSC® C00623 - www.fsc.org



CONOCÉ MÁS



A dense forest of tall, thin trees, possibly a plantation, with a green and blue color overlay. The text "Día de campo" is centered in the middle of the image.

Día de campo



MANEJO DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS EN CULTIVOS DE EUCALIPTO: INSTALACIÓN DE ENSAYO EN LA E.E.A. CONCORDIA

Sergio RAMOS¹, Carmen HERNANDEZ², Andrea ANDORNO²

RESUMEN

Las hormigas cortadoras de hojas se presentan como el principal problema sanitario de las plantaciones forestales de la región mesopotámica. Con el correr de los años, diversos métodos de control fueron usados, siendo lo más eficiente la aplicación de cebos hormiguicidas (control químico). Actualmente, la creciente relevancia que tiene el cuidado del medio ambiente demanda emplear estrategias de control de las plagas mediante manejos sostenibles que integren lo económico, social y ambiental. En el marco del proyecto “Manejo de hormigas cortadoras de hojas en plantaciones forestales de Argentina” financiado por el Programa de Sustentabilidad y Competitividad Forestal (BID 2853/OC-AR), se plantearon dos ensayos en cultivos de eucalipto en donde se compara un manejo tradicional de control químico de hormigas y un manejo en donde se introducen otras especies vegetales (cultivo atrayente + la vegetación espontánea crecida entre las líneas de la plantación). El primer ensayo fue instalado en IMYZA CNIA- INTA Castelar, Buenos Aires en abril 2021 y el segundo ensayo se inicia en primavera 2022 en EEA Concordia. El objetivo de este trabajo es describir ambos ensayos y dar a conocer resultados preliminares obtenidos hasta el momento.

Palabras clave: *plaga, control, hospederas alternativas, cultivos atrayentes*

DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS (INTA CASTELAR – EEA CONCORDIA)

ENSAYO CASTELAR

Lugar: IMYZA. CICVyA-INTA CASTELAR

Fecha de instalación: abril 2021

Especies: *Eucalyptus camaldulensis*, híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (Clones INTA GC27 e INTA GC9) y un híbrido experimental de *E. dunnii* x *E. globulus*.

Superficie estimada: ½ ha

Marco plantación: 2 m x 2 m

Tratamientos: Control químico (Q); Sin control de HCH (C); Con hospederas alternativas= *Salix viminalis* + vegetación espontánea (HA)

Variables medidas: recuento de plantas con daño por HCH, porcentaje de defoliación, altura y diámetro de las plantas de eucalipto, dentro de cada tratamiento. Las mediciones se realizaron en la primavera-verano 21/22, en total se realizaron 5 evaluaciones.

Preparación del lote: Laboreo mecánico, con rastra de disco en la línea de plantación y doble pasada de disco camellonador. No se realizó control químico pre plantación. Post plantación, se realizó la aplicación de un pre emergente (Oxyfluorfen) en la olla de plantación.

Estructura del ensayo: diseño de bloques completos al azar, con parcelas de 5 plantas de cada uno de los materiales genéticos. Se utilizaron 10 repeticiones por tratamiento.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, E. E.A. Concordia. ramos.sergio@inta.gov.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, IMYZA-CICVyA. hernandez.carmen@inta.gov.ar, andorno.andrea@inta.gov.ar

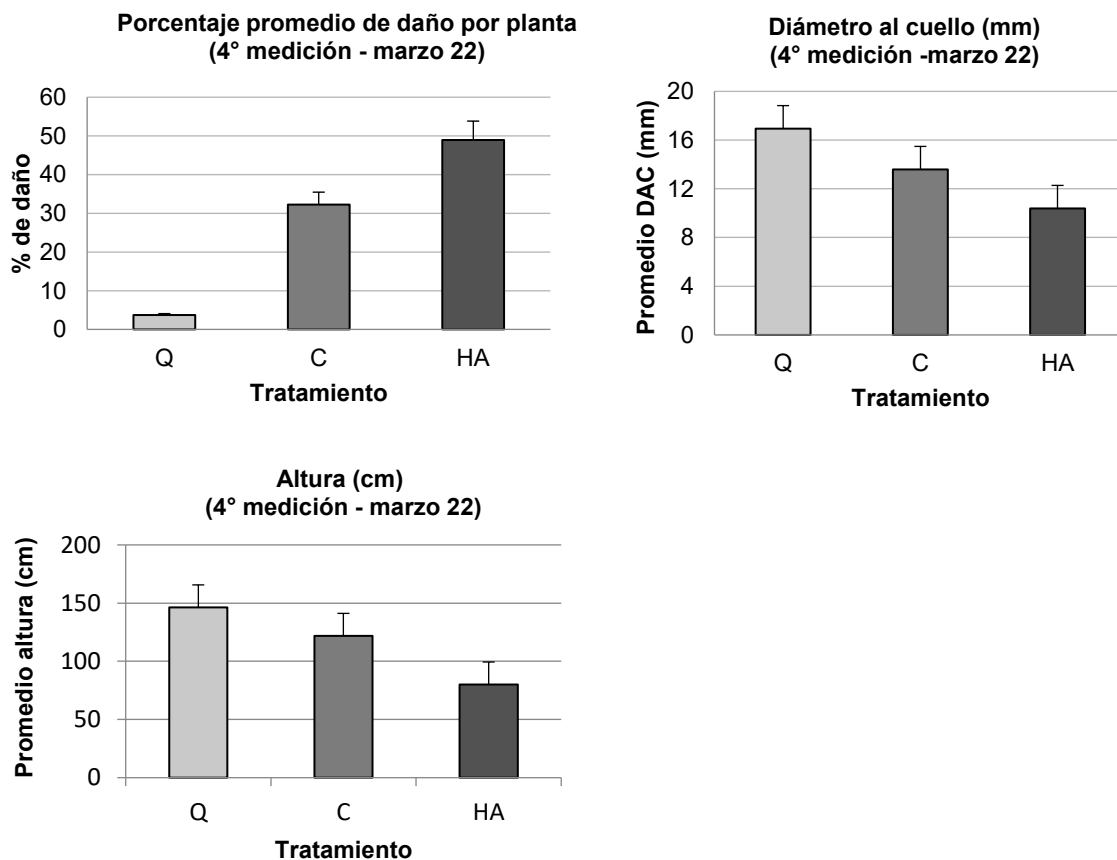


CONTROL QUÍMICO												SIN CONTROL DE HCH												CON HOSPEDERAS											
DG	DG	DG	DG	DG	EC	EC	EC	EC	EC	EC	EC	DG	DG	DG	DG	DG	EC	EC	EC	EC	EC	EC	EC	SV	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	SV	EC	EC	EC	EC	SV

Intervenciones en el tratamiento Químico:

- Abril 2021. Aplicación de insecticida (CLAP) + colocación de bolsas con cebo (Mirex)
- Mayo 2021. Aplicación de insecticida (CLAP) + desmalezado mecánico.
- Junio 2021. Aplicación de repelente para liebres (Acme).
- Noviembre 2021. Desmalezado con motoguadaña. Aplicación de herbicida + insecticida (CLAP).
- Diciembre 2021. Aplicación de herbicida + insecticida (CLAP).
- Enero/Febrero 2022. Aplicación de herbicida + insecticida (CLAP)

RESULTADOS



Los resultados obtenidos en la medición realizada en mayo 2022 muestran que el porcentaje de plantas atacadas por HCH fue del 24% en ambos tratamientos (Q y HA)

CONTROL QUIMICO (Q)

DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	EC	EC	EC	EC	EC
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
EC	EC	EC	EC	EC	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	DG	DG	DG	DG	DG
EC	EC	EC	EC	EC	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
DG	DG	DG	DG	DG	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	EC	EC	EC	EC	EC
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
EC	EC	EC	EC	EC	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG
DG	DG	DG	DG	DG	EC	EC	EC	EC	EC
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
EC	EC	EC	EC	EC	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG
DG	DG	DG	DG	DG	EC	EC	EC	EC	EC

HOSPEDERAS ALTERNATIVAS (HA)

S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	S.V
S.V	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	EC	EC	EC	EC	EC	EC	EC	EC	EC	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	S.V
S.V	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	S.V
S.V	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	S.V
S.V	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	S.V
S.V	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V
S.V	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	S.V
S.V	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	S.V
S.V	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	S.V
S.V	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	S.V

SIN CONTROL DE HCH (C)

DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	EC	EC	EC	EC	EC
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
EC	EC	EC	EC	EC	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	EC	EC	EC	EC	EC
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
EC	EC	EC	EC	EC	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII
DG	DG	DG	DG	DG	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII	DUNNII
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	EC	EC	EC	EC	EC
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG
EC	EC	EC	EC	EC	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
EC	EC	EC	EC	EC	DG	DG	DG	DG	DG
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	GC9	GC9	GC9	GC9	GC9
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	EC	EC	EC	EC	EC
DG	DG	DG	DG	DG	GC27	GC27	GC27	GC27	GC27
GC27	GC27	GC27	GC27	GC27	EC	EC	EC	EC	EC
GC9	GC9	GC9	GC9	GC9	DG	DG	DG	DG	DG

Figura 1. Plantas con daños por hormigas cortadoras de hojas evaluadas a los 13 meses posplantación. Referencias: rojo (daño por HCH), blanco (falla), verde (planta sana), amarillo (sauc).



Control químico

Sin control de HCH

Con Hospederas Alternativas

Los resultados preliminares muestran que pese al control químico las plantas tratadas tuvieron un nivel de daño similar a aquellas de la parcela con hospedante alternativo (sauc+vegetación espontánea) marcando cierto efecto de las especies vegetales como fuente alternativa de forrajeo. Sin embargo, esta vegetación espontánea tuvo un efecto de competencia en el establecimiento de las plantas de eucalipto que se agravó por los problemas de sequía estival de 2021-22.

En este tratamiento además la incorporación de las líneas de sauc no funcionaron como cultivo trampa ya que fueron plantadas al mismo tiempo que la instalación del cultivo. Para el siguiente ensayo se prevé plantar el sauc previo a la instalación del cultivo de eucalipto, para lograr de este modo tener abundantes brotes tiernos.

ENSAYO CONCORDIA

Lugar: EEA INTA Concordia, lotes forestales 150 y 151

Fecha de instalación: primavera 2022

Especie: *Eucalyptus grandis* origen seminal

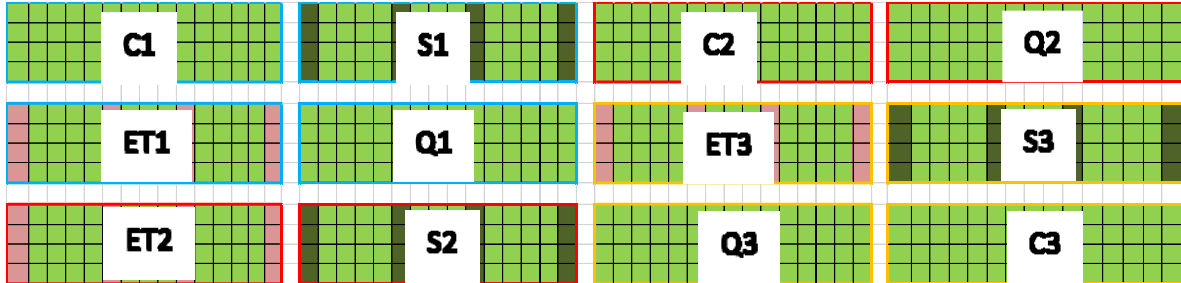
Superficie estimada: ½ ha

Marco plantación: 4 m x 2 m



Tratamientos: Sin control de HCH (C); Control qco. (Fipronil) de HCH (Q); Con sauce (Agronales) como especie atrayente (S); Con *Eucalyptus tereticornis* como especie atrayente (ET)

Estructura del ensayo: cuatro tratamientos distribuidos en parcelas de 60 plantas





FOTOGRAMETRÍA CON DRON: APLICACIONES FORESTALES. CONTEO AUTOMÁTICO DE ÁRBOLES

Juan E. FELDKAMP*¹, Emilio MONTEFINALE¹, Walter FELDKAMP¹

Nuestra empresa: Estudio Feldkamp, Agrimensura, Agronomía & Forestal surge en el 1990 apuntando fuertemente a la teledetección; luego de varios años fuimos pioneros en la incorporación de los sistemas UAV y softwares de fotogrametría digital.

La fotogrametría, como toda área dentro de la profesión, está expuesta a constantes cambios y al avance de la tecnología. La evolución es constante y con ella el aprendizaje y la adaptación de las técnicas de trabajo.

¿Qué es un UAV?

Acrónimo de: Unmanned Aerial Vehicles, es una aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo, dotada de sistemas inteligentes para navegación autónoma.



Componentes del sistema

Un U.A.V. no es sólo una plataforma aérea sino un sistema compuesto por tres partes: la plataforma aérea o aeronave, el enlace de datos (data-link) y la estación de control.

Metodología básica de trabajo

Para iniciar el trabajo, necesitamos un kmz o un croquis de la superficie a medir, luego realizamos un estudio sobre imágenes de Google Earth y con esta información programamos el plan de vuelo en Mission planner.

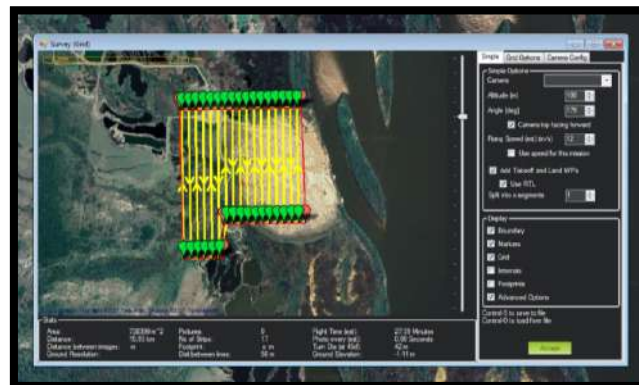


En primer lugar, se chequea que el UAV está conectado vía telemetría con la PC portátil, y se procede a establecer la configuración de vuelo con todos sus parámetros como: satélites disponibles, coordenadas, tuning, auto plan, flight data, flight plan, baterías, cámaras, GPS, y demás sensores.

*¹ Estudio Feldkamp, Agrimensura, Agronomía & Forestal. Gualaguaychú, Entre Ríos, Teléfonos: 03446-15633823 / 632597, E-mail: emforestal@yahoo.com.ar / juanfeldkamp1728@gmail.com



Luego, marcamos el polígono sobre el cual vamos a realizar el vuelo en Mission Planner; con el archivo kmz o kml de fondo podemos comenzar a crear el “plan de vuelo”.



Se visualiza la superficie de vuelo, distancia total recorrida, distancia entre imágenes, tamaño de pixel en el suelo, cantidad de fotos, etc.

Despegue o Lanzamiento



Para este trabajo, de relevamiento de ensayos y del predio de INTA Concordia, se programan los vuelos mediante un UAV modelo Feldmesser equipado con cámara RGB, multispectral o ambas, en donde previamente se implementaron programas de vuelo en función de la variabilidad de las áreas a cubrir, relieve, vientos, utilizando alturas de vuelo variables (120 a 200 m), según las superficies a relevar. Luego se realiza en gabinete el postprocesamiento de las imágenes para obtener los modelos digitales de elevación y ortomosaicos para realizar la digitalización de las imágenes.

Para el caso del mapeo forestal, se dibujan los polígonos de los rodales, caminos, fallas, bajos y áreas de interés actualizados y por ejemplo se procede a crear un GIS o si es aportado por la Empresa, para actualizar las superficies de preparación de suelo y áreas plantadas mediante la utilización de programas como el ARCGIS, GLOBAL MAPPER, AUTOCAD, o QGIS.

Confección de Ortomosaico, modelo digital de elevación (MDE) y curvas de nivel

Una ortofotografía se consigue mediante un conjunto de imágenes aéreas (tomadas desde un avión o un satélite), que han sido corregidas para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y en la que, por lo tanto, es posible realizar mediciones exactas. Combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano. Con la misma técnica se crea el modelo digital del terreno, con el que se confeccionan las curvas de nivel.

Equipos actuales para forestación: Dron de ala fija

Tiene como características: autonomía de vuelo de 90 minutos, capacidad de carga de 800 gramos, 1500 hectáreas por día, cámaras Samsung nx1000 RGB de 24,1 megapíxel, Canon varias y Cámara NIR, 10 km de radio. Para uso rural por su mayor capacidad de vuelo y autonomía.

Aplicaciones y prestaciones de este sistema

Fotogrametría con UAV y topografía clásica en lugares cuyo acceso es restringido, lugares



inaccesibles (canteras, terrenos pantanosos), lugares donde la ortofoto proporciona un valor añadido (levantamiento de asentamientos irregulares) y terrenos, que por su complejidad es mucho más lento el relevamiento por métodos tradicionales.



Beneficios: capacidades y cualidades

- Gran maniobrabilidad y poder de acceso a sitios inaccesibles para vehículos tripulados.
- Menor impacto ambiental tanto de contaminación como de ruido.
- Menor costo de mantenimiento y elevada relación costo / eficiencia
- Elevada movilidad, discreción y sigilo.
- Extensión de terreno inferiores
- Actuaciones que requieren una rápida respuesta.
- Elaboración de cartografía con alto grado de precisión (conteo automático de árboles)

Servicios que se pueden obtener con los distintos procesamientos de datos

- Confección de ortofotos en formato RGB e Infrarroja georreferenciadas en sistemas de coordenadas planas.
- Ortofotos + Cartografía del predio georreferenciada en sistemas de coordenadas planas más relevamiento y digitalización de los elementos de relevancia (caminos, cañadas, afloramientos rocosos, alambrados, monte nativo, zonas de bajos, etc.).
- Confección de orto-foto georreferenciada y conteo automático de árboles.



Otros servicios que se pueden realizar son: monitoreo y control de cauces de río, arroyos, cañadas, embalses, costas marinas, medición de áreas de montes, humedales, reservas naturales, zonas rocosas, corredores biológicos, etc., visualización, control y medición de catástrofes naturales, mapas y mediciones para estudios de impacto ambiental e ingeniería de precisión, inventarios y controles a campo con apoyo de las imágenes aéreas, modelos digitales de terrenos, curvas de nivel, nivel de elevación, análisis de escurrimiento y pendiente, determinación de cuencas, monitoreos sanitarios de plantaciones agrícolas y forestales.

Productos:

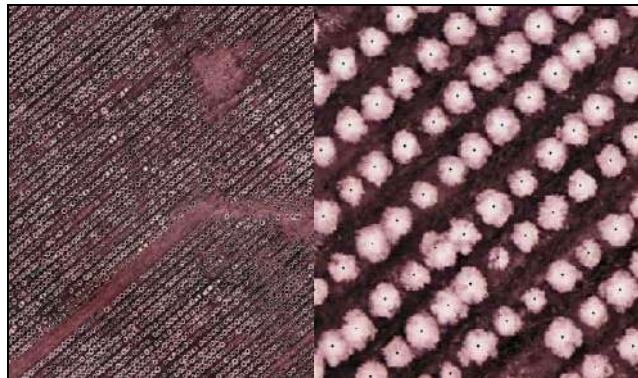
- Planos con distintos filtros:



- Confección de orto-fotos en formato RGB e Infrarroja georreferenciadas en sistemas de coordenadas planas: ortomosaico con más de 800 imágenes con el fin de contabilizar árboles de 6 a 18 meses de edad y medir superficie de cada rodal.



Imagen aérea con sensor Infrarrojo: ortofoto mosaico confeccionado con más de 1500 imágenes con vuelo realizado a 120 metros de altura con cámara Infrarroja con el fin de realizar el conteo de todos los árboles del predio en estudio.



Esta Imagen aérea recortada del mosaico, permite diferenciar claramente cada uno de los individuos. Esto se debe al sensor Infrarrojo, con el que podemos obtener altas precisiones y diferenciar el material vivo del suelo o materiales inertes.

Ortofotos georreferenciadas + Cartografía a nivel predial: ortofoto sacada a unos 150 metros de altura con cámara RGB en donde se realizaron las curvas de nivel del terreno con sus respectivas cotas y relevamiento de los elementos de relevancia.

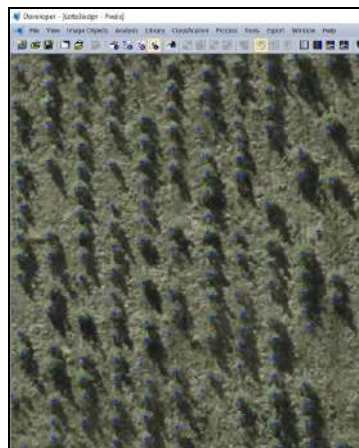
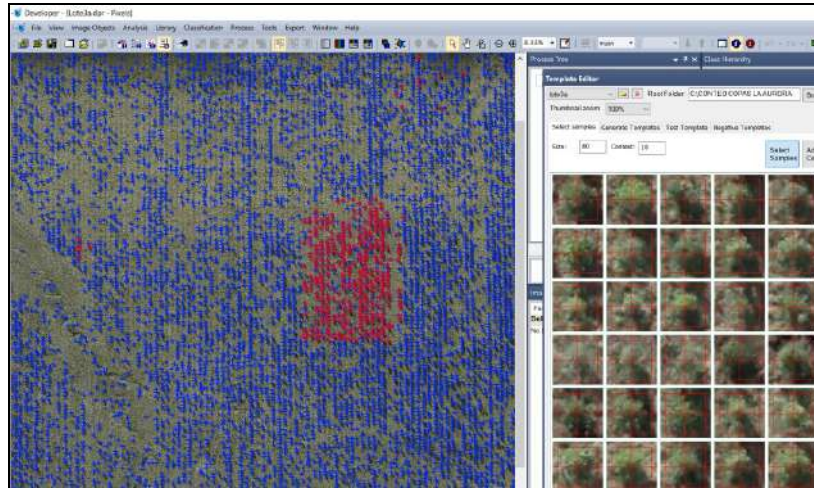
Planos Georreferenciados con medición de rodales y potreros: a partir de imágenes sacadas a 120-200 metros de altura con cámara RGB con el fin de realizar la cartografía del predio. Imágenes base para distribución de grilla de puntos para ubicar parcelas permanentes o temporales en inventarios forestales.

Medición de Volumen mediante fotogrametría: vuelos realizados a 150 metros de altura, para poder sacar curvas de nivel del terreno y las pilas de madera y de esta manera obtener el volumen de madera y estimar los metros estéreos de madera.

Conteo de árboles automático: confección de ortofoto georreferenciada y conteo automático de árboles a partir de imágenes digitales procesadas por el software Ecognition Developer de Trimble.



Contabiliza la totalidad de los árboles sobre una superficie estimada, ya sea en pocos rodales o en todo el campo, con lo que se puede generar un plano de densidad poblacional, superficie de fallas, cruzamiento de distintas capas para evaluar las fallas por problemas de suelos, baja fertilidad, daño por heladas, hormigueros, etc.



Clasificación de rodales

Los rodales se clasifican según la dificultad que estos ofrecen al Software de conteo automático de árboles:

Óptimos para el conteo automático: en estos rodales se puede diferenciar sin ninguna duda los árboles del resto de la imagen.

Sencillos para el conteo automático: son rodales que tienen una mayor cantidad de maleza, pero que se pueden diferenciar los árboles del resto. Este tipo de rodales necesitará un trabajo más detallista y complejo que el caso anterior.

Difíciles para el conteo automático: estos rodales tienen una mayor cantidad de maleza que los anteriores, haciendo muy difícil diferenciar a los árboles. Requieren mucho trabajo para el conteo automático, segmentación y clasificación, además de una etapa de control de calidad exhaustivo.

Control de calidad del software

El control de calidad se lleva a cabo mediante parcelas circulares de 10 metros de radio, donde se ven las diferencias del conteo automático y conteo manual. Las parcelas son distribuidas de forma uniforme al centro y en los extremos del rodal. Los rangos de calidad buscados son del 90% al 98% según el trabajo.



ENSAYO DE CLONES HÍBRIDOS PRE-COMERCIALES DE INTA

Leonel HARRAND¹, G. P. Javier OBERSCHHELP², Carla S. SALTO³

Dentro del programa de mejoramiento genético de eucaliptos, el INTA viene desarrollando una línea alternativa a la utilización de especies puras, la cual consiste en la generación de híbridos interespecíficos entre dos especies, buscando en un individuo la combinación de características deseables de ambas especies involucradas. Es así que se han generado híbridos de *Eucalyptus grandis* con *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. dunnii*, *E. globulus*, *E. robusta* y algunas otras especies. Como primer resultado de ello, en el año 2012 se inscribieron en el RNC de INASE los primeros clones híbridos GC y GT, algunos de ellos ya plantados en gran escala en varias partes de Argentina.

Desde el año 2015, se cuenta con un grupo de clones que presentan comportamiento sobresaliente en su red de ensayos iniciada en 2008. No obstante, esta red contaba con las características de las fases iniciales de un ciclo de selección de clones, un número muy elevado de clones (>150) e instalados en algunos sitios representativos de cultivo. Este número elevado de clones implica emplear pocas plantas por clon para mantener los ensayos en dimensiones manejables (1 a 3 ha), optimizando los recursos.

En una segunda etapa, para minimizar errores en la selección de material destinado a comercialización, es necesario testear esta información a mayor escala y en una mayor diversidad de ambientes (suelo y manejo). Esto se realiza con la finalidad de evaluar la productividad de estos materiales a nivel de plantación comercial, bajo la mayor diversidad de ambientes posibles. Esta información permitirá conocer las limitaciones y fortalezas de cada material genético, y se empleará para definir los clones que pasarán a fase comercial. Asimismo, esta misma información permitirá al productor escoger la mejor opción disponible, de acuerdo a la experiencia acumulada con estos materiales.

Desde 2017, en cooperación con el vivero Paul Forestal y el CoFRU (Consortio Forestal Río Uruguay), 16 clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC) pre-comerciales de INTA junto a testigos comerciales se han instalado en ensayos de productividad o lotes demostrativos. Hasta el momento, esta red abarca 13 puntos de las provincias de Entre Ríos, Corrientes, Buenos Aires y Chaco.

En las Figuras 1 y 2, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones al año y a los tres años de implantado en un sitio de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia en otoño 2019. Esta plantación se encuentra en una situación de suelo arenoso, lindante a un bajo de drenaje natural hacia el arroyo Yuquerí Grande. El ensayo cuenta con 17 clones pre-comerciales, 4 clones GC comerciales (H105, GC-INTA-9, GC-INTA-12 y GC-INTA-27) y 3 testigos de semilla (*E. grandis* HSC de INTA, *E. dunnii* HSP de INTA, *E. camaldulensis* origen Petford). Las parcelas están formadas por 24 plantas (4 líneas x 6 plantas) en 4 repeticiones. El distanciamiento de plantación es de 4 m x 2,5 m.

A temprana edad, los híbridos GC presentan una ventaja marcada de crecimiento en altura en comparación a las plantas de *E. grandis* puro (algunos en más de 2 m el primer año y 4 m el tercero), lo que es una superioridad frente a la presencia de heladas o ante los controles necesarios de malezas. A su vez el diámetro normal a los 3 años de implantado es similar o superior al material de *E. grandis*, algunos clones 2 cm más gruesos al tercer año.

En función a lo observado en otros ensayos, esta superioridad inicial de los materiales GC puede ser mantenida en el tiempo, en condiciones de sitio con ciertas limitantes para *E. grandis*, sin embargo, en sitios de buena aptitud, estas diferencias iniciales van diluyéndose y pueden desaparecer.

¹ EEA INTA Concordia. harrand.leonel@inta.gob.ar

² EEA INTA Concordia. oberschelp.javier@inta.gob.ar

³ EEA INTA Concordia. salto.carla@inta.gob.ar

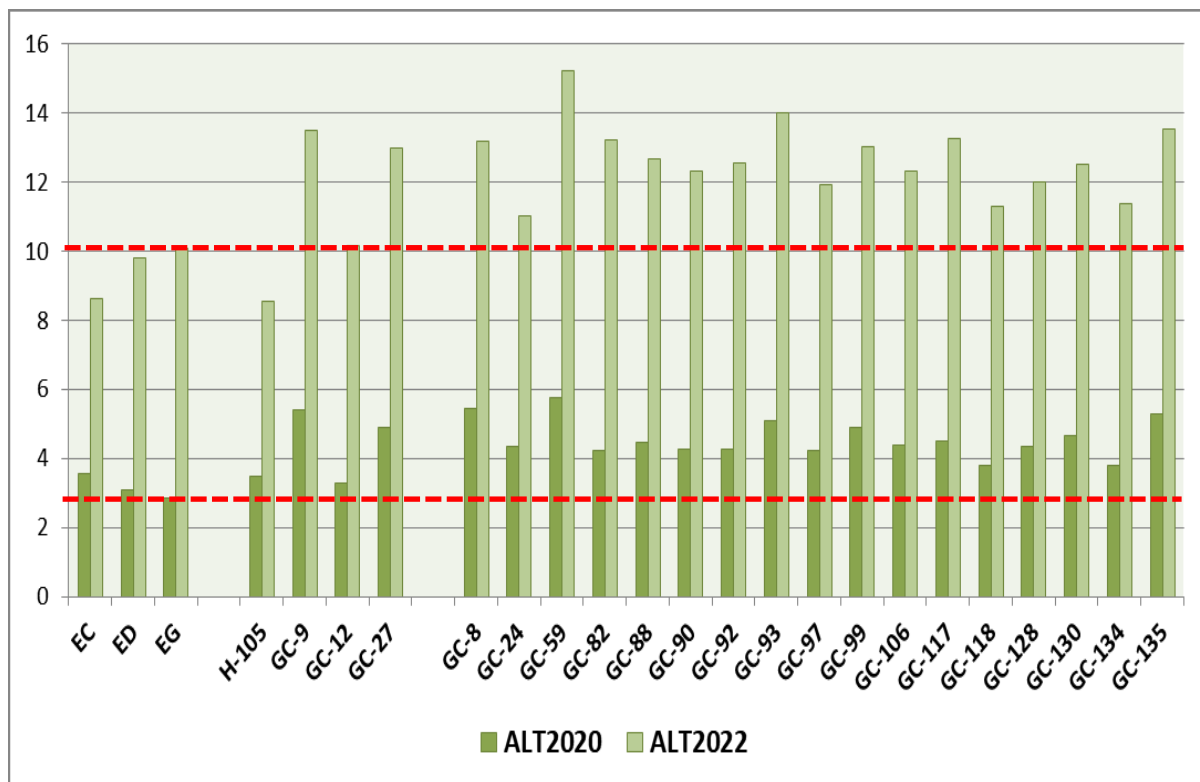


Figura 1. Crecimiento en altura (en metros), al año (ALT2020) y a los tres años (ALT2022) de implantado, de clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis*, en un sitio de suelo arenoso en Concordia, Entre Ríos (línea punteada señala la altura alcanzada por el material de *E. grandis* seminal).

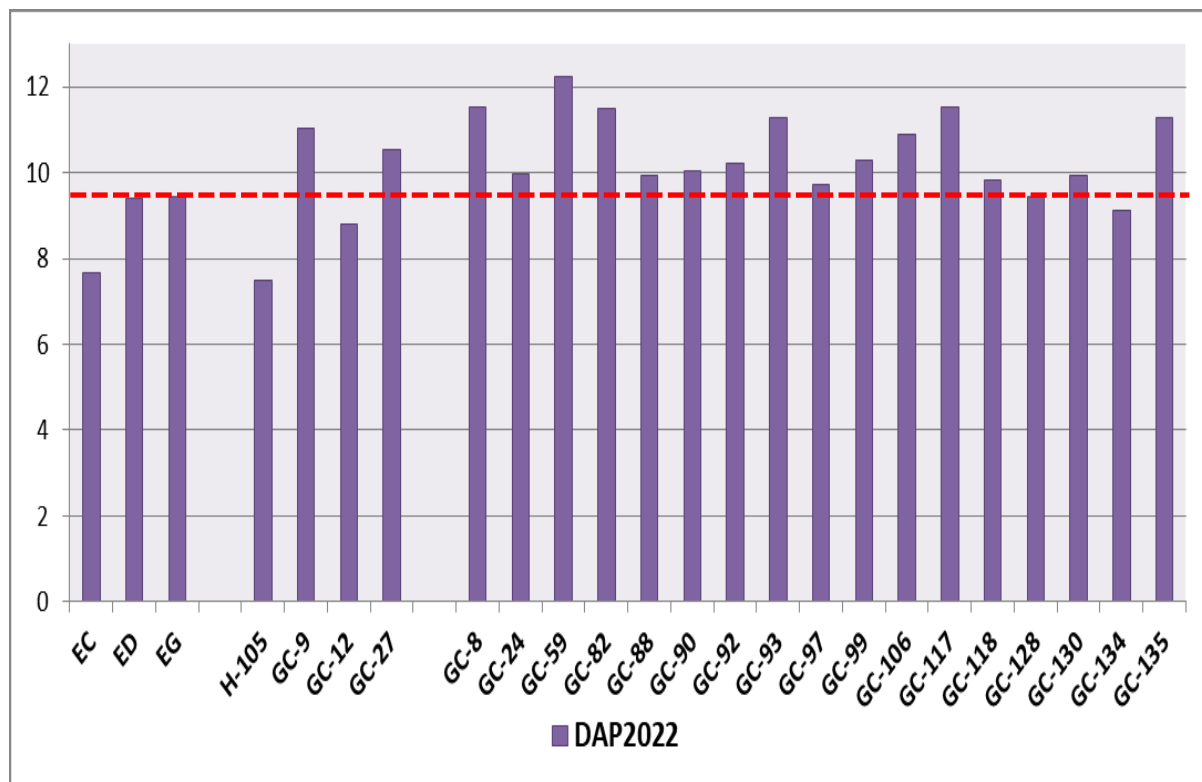


Figura 2. Crecimiento en diámetro normal (en centímetros), a los tres años (DAP2022) de implantado, de clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis*, en un sitio de suelo arenoso en Concordia, Entre Ríos (línea punteada señala el diámetro alcanzado por el material de *E. grandis* seminal).



Los materiales híbridos GC se han generado ante la necesidad de materiales más tolerantes al frío que *E. grandis*; ahora, por su constitución genética, se obtienen materiales con características de madera diferentes a *E. grandis*, generalmente intermedias a ambas especies involucradas. Usualmente presentan mayor densidad, pero también mayor contracción, por lo que su utilización y transformación industrial debe ser considerada al realizar la planificación productiva.

Al realizar la evaluación en conjunto de todos los sitios de esta red, medidos a los 3 años de implantado, el análisis estadístico detecta una interacción en crecimiento entre los clones y el sitio-año de plantación. Se observa que en general los clones muestran una ubicación en el ranking similar en varios sitios, pero cambian significativamente en algunos de ellos. Sin embargo, hasta esta edad de 3 años, las diferencias de crecimiento entre ellos es poca y similar al testigo de *E. grandis* (datos no mostrados). Es necesario realizar estas evaluaciones con algunos años más de edad, y también en algunos otros sitios, para obtener una información completa sobre la *performance* de cada clon.



DEFECTOS EN TABLAS ASERRADAS DE CLONES DE EUCALIPTOS DE INTA

Matias S. MARTINEZ¹, Rosa Ángela WINCK², Ciro A. MASTRANDREA¹, Leonel HARRAND¹, G.P. Javier OBERSCHELP¹

1. INTRODUCCIÓN

Las anomalías de la madera aserrada pueden provenir de condiciones naturales de crecimiento del árbol, procesos de aserrado o secado, ataque de agentes biológicos, y daños originados por el empleo de técnicas inapropiadas para el almacenamiento o transporte (Jiménez, 2007). El rajado/agrietado y alabeos, se originan por las tensiones internas del árbol y en el proceso de secado, que ocasionan una disminución en el rendimiento y calidad de la madera, como también, restringiendo sus aplicaciones. Esto podría minimizarse mediante el empleo adecuado de técnicas de apilado y colocación de separadores, entre otros (Freitas et al., 2008).

Para el género *Eucalyptus*, las rajaduras producidas en el proceso de secado, así como la liberación de tensiones de crecimiento durante el proceso de aserrado y de secado son uno de los defectos más frecuentes. Por otro lado, las deformaciones y contracciones son causadas principalmente por el tipo de madera, especie, variedad y calidad de sitio y su corrección aumenta los costos y reduce el rendimiento (Diez et al., 2001).

Teniendo en cuenta que los defectos afectan la producción de madera aserrada para determinados requisitos de calidad, el objetivo de este trabajo fue determinar la presencia y proporción de defectos derivados del proceso de secado natural de tablas aserradas de dos materiales clonales híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y dos clones puros de *E. grandis*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos derivado de un ensayo de 15 años de edad, ubicado en la EEA Concordia del INTA, Entre Ríos. Se seleccionaron 8 árboles por material genético y de cada uno se extrajo dos rollizos consecutivos de 3,20 m de longitud, procedente del fuste a partir de 1,30 m. Para este estudio se emplearon tablas aserradas de 1" de espesor con ancho variable. Se trabajó con 753 tablas proveniente de 80 rollos (2 rollizos/árbol, denominados basales y superiores, respectivamente).

Los defectos se determinaron de acuerdo con las normas Panamericana COPANT N° 746 para maderas aserradas y cepilladas. El rajado fue medido en cada extremo de las tablas obteniendo por

sumatoria de las rajaduras de cada extremo la longitud de rajado total presente. Los alabeos contemplados fueron combado, abarquillado, encorvado y revirado (Figura 1).

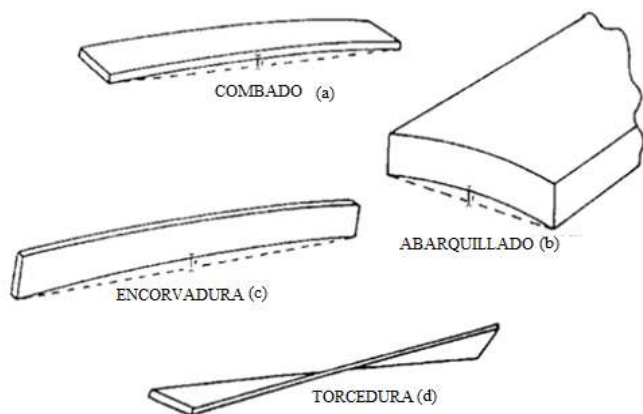


Figura 1: Defectos en tablas aserradas. a) Combado. b) Abarquillado. c) Encorvado. d) Torcedura o revirado. Vignote (2006).

¹ Investigadores EEA Concordia, INTA. Correo: martinez.matias@inta.gob.ar

² Investigador EEA Montecarlo, INTA. Docente FCF- UNaM, Eldorado, Misiones, Argentina.



3. RESULTADOS

El 80 % de las tablas no presentaron médula en ninguna de las caras, siendo el GC INTA 24 el que menor cantidad de tablas con médulas presentó (14 %) y el GC INTA 27 el que arrojó mayor cantidad de piezas con este defecto (20 %). La presencia de médula fue superior en las tablas proveniente del rollizo 2 (superior), lo cual se debe a la disminución de los diámetros de los mismos con respecto al rollizo 1 (Cuadro 1). Se tuvo en cuenta la presencia de la médula en al menos en una cara de la tabla aserrada.

Cuadro 1: Proporción de médula y de pérdida debido al rajado, en tablas aserradas.

Materiales genéticos	Presencia de médula (%)	Pérdida de madera debido al rajado (%)*
EG INTA 157	15	6
EG INTA 36	15	11
EG INTA HSP	17	8
GC INTA 24	14	5
GC INTA 27	20	13

* Porcentaje de pérdida de madera sobre el volumen de rollizos procesados debido al rajado en tablas.

Los EG INTA 36 y GC INTA 27 fueron los materiales con mayores porcentajes de pérdida de madera sobre volumen de rollizos procesados, debido al rajado en tablas, sin discriminación de presencia o ausencia de médula (Cuadro 1).

Las tablas con presencia de médula presentaron un mayor porcentaje de pérdida por rajado. En aquellas tablas sin médula, las mermas de volumen ocasionado por este defecto, disminuyeron en todos los materiales evaluados (Gráfico 1).

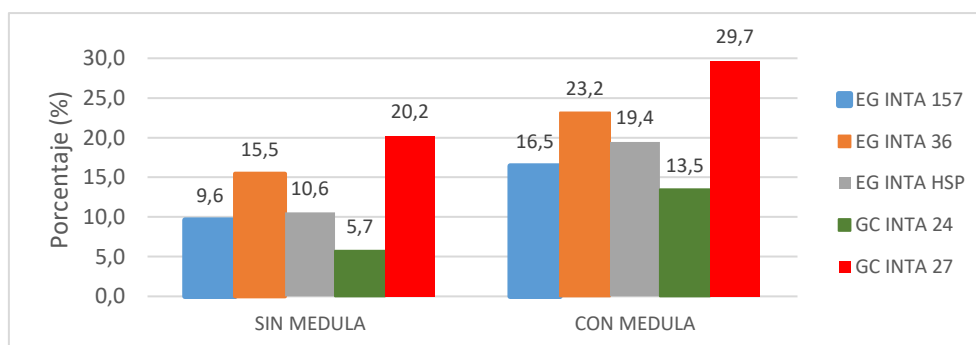


Gráfico 1. Pérdida porcentual por rajado en tablas con médula presente.

En la Cuadro 2 se presentan la longitud total de rajado por tabla para cada material genético.

Cuadro 2: Valores promedio de longitud total de rajado (en cm) para cada material genético.

Materiales genéticos	N	Promedio (cm)		C.V. (%)	Mín. (cm)	Máx. (cm)
EG INTA HSP	161	42,17	bc	61,27	3,00	127,50
EG INTA 157	113	38,29	ab	53,80	7,00	105,20
EG INTA 36	178	57,41	cd	48,69	8,00	173,00
GC INTA 24	105	24,04	a	61,57	3,00	82,00
GC INTA 27	137	73,03	d	46,36	10,00	210,00

N: cantidad de tablas medidas, *Promedio:* media de longitud de rajado total en tablas. *C.V.:* coeficiente de variación. *Mín.:* mínimo. *Máx.:* máximo.

La longitud media de rajado por metro de tabla aserrada, osciló entre los 7,5 cm/m a 22,8 cm/m. La presencia de rajadura se presentó en el 90 % de las tablas evaluadas (Gráfico 2).

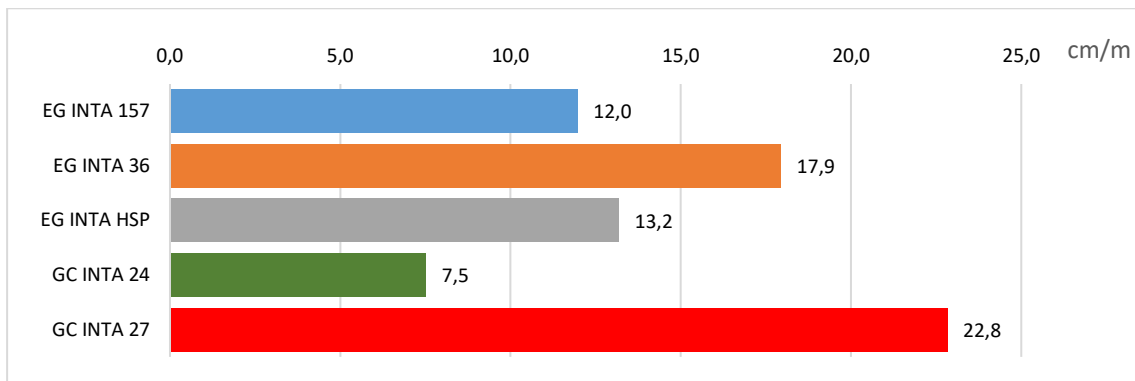


Gráfico 2. Longitud promedio de rajadura por metro de tabla aserrada

El alabeo que ocurrió en menor proporción fue el revirado, mientras que el encorvado, combado y abarquillado sucedieron con mayor frecuencia en las tablas aserradas.

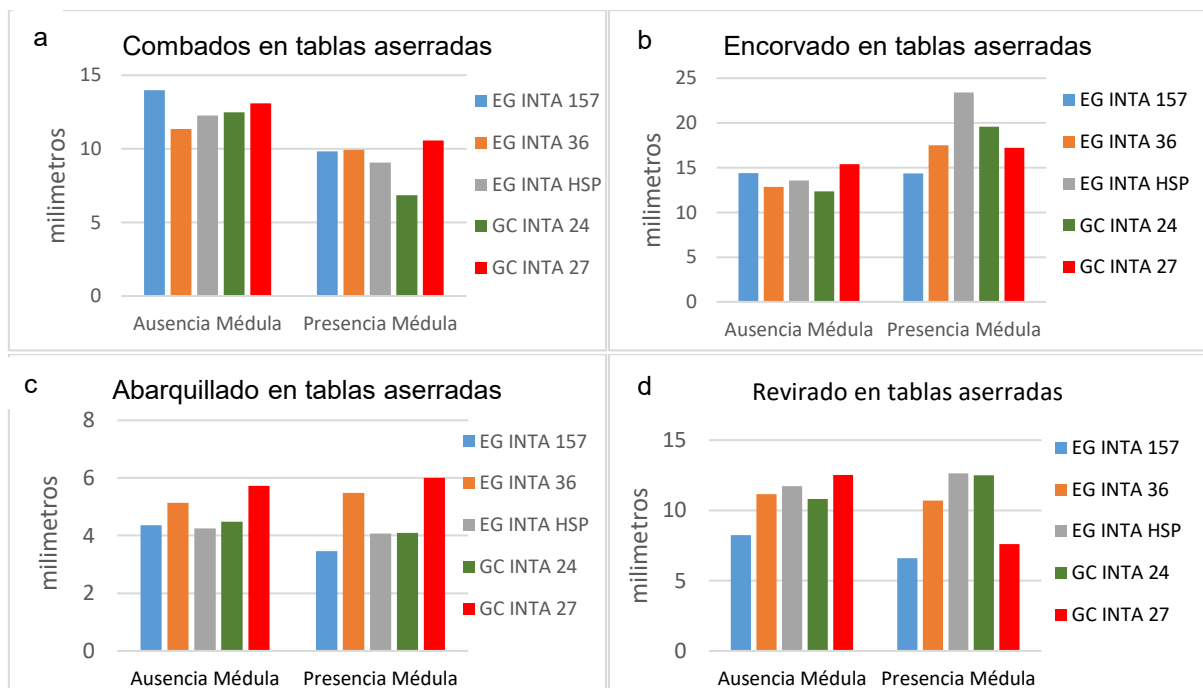


Gráfico 3. Defectos en tablas aserradas, según presencia de médula. a) Combado. b) Encorvado. c) Abarquillado. d) Revirado.

Para combado no se observaron diferencias significativas entre los materiales genéticos evaluados, arrojando valores medios similares. Se obtuvo menores valores de combados en tablas con médulas. Se observaron entre 93 % a 99 % de tablas con combado (Gráfico 3a).

Los mayores valores de encorvado ocurrieron en tablas con médula (Gráfico 3b), principalmente en el material seminal; donde no se presentaron diferencias significativas entre los materiales genéticos. Hubo una presencia de 67 % a 82 % de tablas encorvadas. En tablas sin médulas, los mayores valores medios de encorvado sucedieron para el clon GC INTA 27, sin diferencias significativas con los demás materiales, excepto con GC INTA 24.

En abarquillado, el material que mayores valores mostró fue el GC INTA 27. El clon EG INTA 36 tuvo un comportamiento similar a este último, en las tablas que contenían médula. En general hubo una presencia de 79 % a 96 % de tablas abarquilladas (Gráfico 3c).

No existieron diferencias entre el material genético para la presencia de revirado en tablas. De todos modos, se observaron, en tablas sin médula, menores valores de revirado para el clon EG INTA 157, y mayores para el material de GC INTA 27. En tablas con médula, el clon EG INTA 157 presentó menores



valores de revirado. Solamente se observaron entre 8 % y 17 % de tablas reviradas según material genético (Gráfico 3d).

4. DISCUSIÓN

En todos los materiales genéticos evaluados en el presente trabajo, la incidencia de la médula en las tablas puede tener un efecto negativo en cuanto a apariencia como también estructuralmente, coincidiendo con Yang et al. (2002). Se debe considerar que la proporción de tablas con presencia de médula puede minimizarse con el aumento de los diámetros de los árboles a talar y utilizando otro sistema de aserrado (Brennan et al., 1992; Tinto, 1986).

Se considera que las rajaduras presentes en los extremos de las tablas aserradas afectan el rendimiento del producto obtenido y son atribuidas por una parte al proceso de secado y también a las tensiones de crecimiento propias de cada material genético (Rosales-Solórzano, 2008). García y Lima (2000) consideraron al rajado de las tablas como posible indicador para seleccionar materiales genéticos para aserradero.

Entre los defectos de alabeo de las tablas, el revirado y abarquillado son los que más limitan la producción, dificultando o llegando a hacer inviable el cepillado de las piezas. Los defectos de forma pueden ser atenuados tomando los recaudos técnicos necesarios, como, por ejemplo, correcto estivado, secado, aserrado y acondicionamiento. El encorvado y el combado pueden mitigarse o incluso eliminarse reduciendo la longitud de las piezas (Rocha y Trugilho 2006).

5. CONCLUSIONES

Los diferentes materiales genéticos y la presencia de defectos afectan al rendimiento del producto final obtenido, ocasionando una disminución de la producción.

La presencia de médula en las tablas favoreció la aparición del defecto de rajado, causando una reducción en el rendimiento del producto final.

En futuros estudios se propone evaluar distintos materiales genéticos en cuanto a la presencia de defectos, rajados y proporción de médula en tablas y tirantes provenientes de distintos sistemas de corte en el aserrado.

6. AGRADECIMIENTO

A compañeros del área forestal y auxiliares de campo de EEA INTA Concordia, que colaboraron en el trabajo in situ para obtener los rollizos y preparación de muestras. A la Facultad de Ciencias Forestales (FCF- UNaM), por facilitarnos el uso del laboratorio y equipamiento, como el apoyo técnico. A la empresa que realizó el aserrado de los rollizos ACOM SA de acuerdo con lo solicitado. También a la empresa de transporte forestal FORLOG SRL, por traslado de los rollizos. Igualmente, al COFRU, por sus contribuciones en el proyecto. De igual forma al CEDEFI, por préstamo de sus instalaciones y equipamientos de carpintería.

7. LITERATURA CITADA

- BRENNAN, G. K.; HANKS, W. R.; WARD, S. L. 1992. Processing plantation-grown Tasmanian blue gum. Department of Conservation and Land Management. WURC Technical Report No. 41, 14.
- DIEZ, M. R.; FERNÁNDEZ GOLFÍN, J. I.; HERMOSO, E. 2001. Causas de las deformaciones en madera estructural de *Pinus nigra*. Investigación Agraria: Sist. Recur. For. 10: 245 -252.
- FREITAS, D.L.; CARVALHO, D. E.; BELTRAME, R.; DOS SANTOS, G. A.; GATTO, D.A.; HASELEIN, C.R. 2016. Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus spp.* Sci. Agrar. Parana, Marechal Cândido Rondon, 15(4): 435-439. <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n4p435-439>.
- GARCIA, J. N.; LIMA, L. L. 2000. Log end splitting and improvement in sawing *Eucalyptus grandis*. In: Proc. of IUF30 Conference 'The Future of eucalypts for wood products', Launceston, Hobart, Forestry Tasmania: 113-123
- JIMÉNEZ, A. B. 2007. Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera. Kurú: Revista Forestal 4(10), 9.



- LÓPEZ, J. A. (H); MASTRANDREA, C. A.; LÓPEZ, A. J., HERNÁNDEZ, M. A.; MARTINEZ, M. S.; 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. XXXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina. 41-53. ISSN 1668-8279
- ROCHA, M. P.; TRUGILHO, F. P. 2006. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. *Cerne*, Lavras, 12(4),314-321.
- ROSALES SOLÓRZANO, E.; SALAS CHOQUEHUANCA, A.; TUESTA RAMIREZ, Y.; DEA HIDALGO, T. 2018. Comparación de cinco métodos de apilado en ambiente cerrado para el secado de madera aserrada de *Brosimum lactescens* (S. Moore) C. C. Berg (manchinga), las piedras, tambopata – madre de dios. *Ceprosimad*, 6(2), 29-35
- TINTO, J. 1986. Tipificación de la madera de Entre Ríos. Primera Jornada Mes Forestal de Entre Ríos. INTA-IFONA. 7.
- YANG, J. L.; FIFE, D.; WAUGH, G.; DOWNES, G.; BLACKWELL, P. 2002. The effect of growth strain and other defects on the sawn timber quality of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill, *Australian Forestry*, 65:1, 31-37, DOI: 10.1080/00049158.2002.10674850.
- VIGNOTE, S.; MARTINEZ-ROJAS, I. 2006. Tecnología de la madera. Mundi Prensa Libros. 687.

**FORESTAL
BOSQUES
DEL PLATA S.A.**

cmpc. 

**ALTO
ESTÁNDAR
DE CALIDAD**

**Producción y Comercialización de rollizos
de pino, plantines y semillas**

bdcomercial@cmpc.com.ar

Cel. 3756 611290

Of. Posadas: 3764 451911 / 450910



PALMA
NEGOCIOS INMOBILIARIOS



PABLO BOVINO
SERVICIOS FORESTALES

**En Banco Nación,
cada empresa cuenta.**

bna.com.ar

0810 666 4444

Seguinos en     



Banco Nación

Cada argentin@ cuenta

Hecho en Japon

ARS

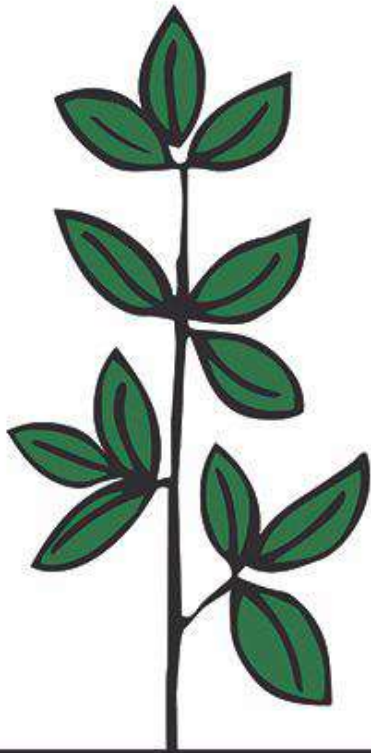


Cut Above the Rest



DISTRIBUIDOR
OFICIAL

BERMON
DISTRIBUIDORA



PAUL FORESTAL

PLANTINES DE PEDIGREE

www.paulforestal.com.ar

+54 345 15 6024487



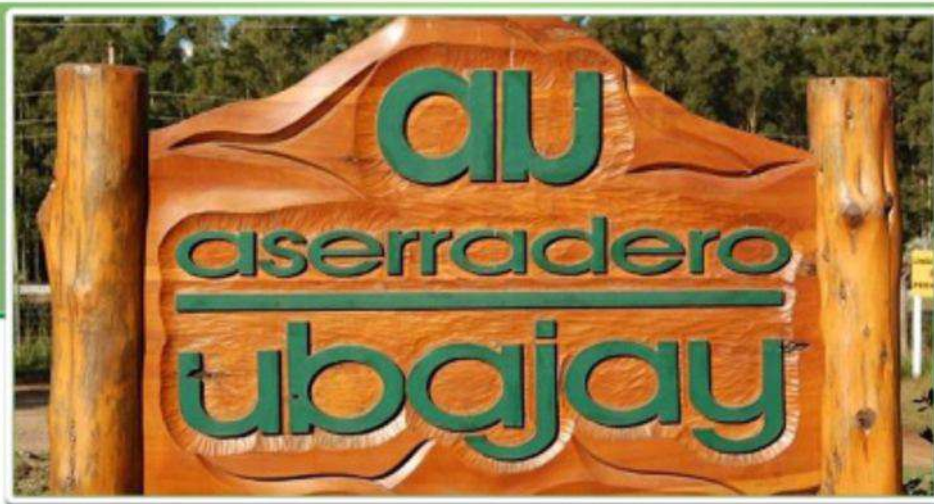
**Armado de galpones avícolas,
porcinos y vacunos**

**Machimbres, decks,
pisos y revestimientos**

Todo en eucaliptus.


Ruta 135, acceso Puente Internacional, Colón (E.R.) Argentina C.P. 3280
+54 9 344709222 54 9 344709224 | aserraderoorcellet@gmail.com

**Adhiere a las
XXXVI 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

Adhesión de:

San Martín 201
Capital Federal
Tel 011 43946882
011 43946404

SAENZ VALIENTE HNOS. S.A.

Estancia "Los Monigotes"

*Agropecuaria - Forestal
Ganadera*

UBAJAY - Depto. COLON - E.R.

Tel. Fax 0345 4905000

losmonigotes@saenzvalientehnos.com.ar



INDUMENTARIA DE TRABAJO

CJAL. VEIGA 1448, CONCORDIA

TEL: 0345 422 5777

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



Comercio y Desarrollo PLANTACIONES FORESTALES

Estancia PALMAR, Ruta Nacional 14 Km. 188,5, Berduc, E.R.
Teléfono (3447) 15432453
info@comercioydesarrollo.com.ar

Vivero San Gabriel
- de -
Omar Alcides Benitez



Eucalyptus grandis

Plantines

 3456022311

(3500 Mts, Norte Esc. Provincial 150)

La Criolla, Entre Rios.



Contribuciones Voluntarias



ECUACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE ALTURA Y VOLUMEN EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus dunnii* EN EL NORTE DE LA REGIÓN PAMPEANA

Paula FERRERE¹, Dino PALAZZINI^{2,4}, Ana María LUPI³, Pablo PATHAUER⁴

RESUMEN

Las ecuaciones de altura y volumen son una herramienta imprescindible para la planificación y la gestión de rodales forestales. *Eucalyptus dunnii* presenta un excelente potencial en la zona norte de la Región pampeana, debido a un buen crecimiento, rectitud de fuste y tolerancia al frío. El objetivo de este trabajo fue ajustar ecuaciones de altura y volumen total, con y sin corteza, para dicha especie. Se trabajó con árboles ubicados en plantaciones situadas en un radio de 150 km con epicentro en Castelar. Para la altura se midieron 438 ejemplares: 350 se emplearon en la construcción de modelos y 88 se emplearon para validación. Para las ecuaciones de volumen se cortaron 71 árboles: 56 se usaron para el ajuste del modelo y 15 para su validación. Se evaluó la capacidad de predicción de ecuaciones de altura-volumen de amplio uso en la bibliografía, mediante técnicas de regresión lineal y no lineal. Las ecuaciones presentaron buenos ajustes. Para la altura se utilizó un modelo ln-ln que emplea como variable independiente el diámetro a la altura del pecho (dap) y la edad. Mientras que para el volumen se seleccionó el modelo de Schumacher, con dap y altura como variables regresoras. El rango de aplicación de los modelos comprende edades entre los 3 y 13 años, dap entre 3,2 cm y 45,2 cm, alturas entre 4,1 m y 41,7 m.

Palabras clave: ecuación de altura, ecuación de volumen, *Eucalyptus dunnii*, región pampeana

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, el género *Eucalyptus* ocupa el segundo lugar en cuanto a la superficie total cultivada (<https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>). Si bien *Eucalyptus grandis* W. Hill es la especie predominante, *Eucalyptus dunnii* aparece como una alternativa de interés debido a su alta productividad y buena rectitud de fuste, siendo menos susceptible que el anteriormente mencionado, a las heladas y al estrés hídrico. Esta especie, cultivada comercialmente en Brasil, Sudáfrica, China y Australia, fue introducida en nuestro país en el año 1975 con el objetivo de evaluar su adaptabilidad, crecimiento y productividad como una alternativa en la producción de madera con destino a triturado para celulosa y tableros en el NE de Buenos Aires y SE de Santa Fe (Gea, 1986). A pesar de su importancia, aún no se disponen de modelos de crecimiento y producción para esta región. Como antecedentes se pueden mencionar a Barth et al. (2000), quienes trabajaron en la zona Garuhape, Misiones y más recientemente Achinelli et al. (2017) determinaron el crecimiento en 30 parcelas ubicadas en la región norte de la depresión del Salado. El objetivo de este trabajo fue ajustar ecuaciones de altura y de volumen total con y sin corteza, para dicha especie en la zona norte de la provincia de Buenos Aires y el SE de Entre Ríos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron mediciones sobre 26 plantaciones operativas, parcelas demostrativas y ensayos con *E. dunnii*, localizados en el centro norte de la provincia de Buenos Aires y sureste de Entre Ríos (en un radio de 200 km aproximadamente desde CABA). Los sitios de muestreo (Cuadro 1) incluyeron una

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

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP/ Mail: palazzini.dino@inta.gob.ar

³ Instituto de Suelos, CIRN, INTA Castelar. Mail: lupi.ana@inta.gob.ar

⁴ Instituto de Recursos Biológicos, CIRN, INTA Castelar. Mail: pathauer.pablo@inta.gob.ar



amplia variedad de plantaciones pertenecientes a las empresas: Coldrige SA, Daglom SA, Fiplasto SA, Arauco Argentina SA, Establecimientos La Negra SA y El Potrero de San Lorenzo SA, establecidas en cercanías de las localidades de Carlos Keen, Jaúregui, Castilla, Carmen de Areco, Ramallo, Zarate (Buenos Aires) y Gualaguaychú (Entre Ríos). Las plantaciones seleccionadas para los relevamientos están distribuidas en edades que van desde los 3 a los 13 años conformando una cronosecuencia que abarcaría una rotación forestal típica para la región de estudio. De esta manera se asume que representan el estado de desarrollo característico de la misma a esa edad.

En cada rodal se instalaron 3-4 parcelas de muestreo cuadradas, temporarias de una superficie de 400 m². Se midieron todas las circunferencias a la altura del pecho (CAP), la altura total (h) y la altura de la copa verde de 6 individuos por parcela (4 del CAP máximo, 1 del medio y 1 mínimo). Las mediciones de CAP se realizaron con una cinta métrica estándar y las de altura con un clinómetro Suunto/hipsómetro Vertex. En total se midieron 438 pares CAP-h, destinándose 350 para el ajuste de los modelos y 88 para la validación de los mismos. Se realizó un muestreo destructivo de 71 árboles seleccionados de manera aleatoria para incluir todos los sitios de estudio (56 para ajuste de modelos y 15 para validación). La toma de los datos en cada individuo incluyó las siguientes variables: diámetro a la altura del pecho (dap) con corteza (cm), altura total en metros (H), diámetro con y sin corteza (cm), (d) para cada sección del fuste cada 2 metros y su altura relativa.

Se ajustaron modelos de estimación de altura y volumen individual (Cuadro 1), de uso más difundido en la bibliografía. En el caso de la altura se emplearon modelos lineales, mientras que para la estimación del volumen con y sin corteza, se consideró un modelo no lineal (4).

Cuadro 1. Ecuaciones de altura y volumen puestas a prueba para *E. dunnii*

Variable a estimar	Modelo
Altura	1) $h=a+b*dap$
	2) $h=a+b*(dap)+c*(edad)$
	3) $\ln h=a+b*\ln(dap)$
	4) $\ln h=a+b*\ln dap+c*\ln(edad)$
Volumen	1) $\ln v=a+b*\ln(dap)$
	2) $\ln v=(a+b*\ln(dap)+c*\ln(h))$
	3) $v=a+b*dap^2*h$
	4) $v=a*dap^b*h^c$

La evaluación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza (homocedasticidad) se realizó mediante el análisis gráfico de los residuos de cada modelo. Se empleó el gráfico cuantil-cuantil (Q-Q plot), usando como distribución teórica la normal y un gráfico de residuos estudentizados vs. valores estimados (r.e. vs. v.e.) (Myers y Myers, 1986). La evaluación de la bondad de ajuste de los modelos se basó en la obtención del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y la raíz del cuadrado medio del error (RCME). Además, se tuvo en cuenta la significancia de los parámetros ($\alpha=0,05$) y el número de parámetros del modelo (principio de simplicidad). Según estos criterios, se busca que el R^2_{aj} sea lo más elevado posible, el RCME presente el menor valor, y el número de parámetros sea el menor posible. La evaluación de la capacidad predictiva de las ecuaciones de volumen ajustadas se llevó a cabo utilizando una muestra de 15 individuos (20 % del total) que no formaron parte de la muestra con la cual se realizaron los ajustes. Se calcularon el sesgo (\bar{E}) y la media de los valores absolutos de los residuos (MAR, $|\bar{E}|$) (Castedo y Alvarez, 2000). Los análisis estadísticos se realizaron con Infostat 2011 (Di Rienzo et al., 2008).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las variables predictoras en las ecuaciones de altura y volumen resultaron significativas. En el análisis gráfico de los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza (Figura 1) no se detectaron evidencias que hicieran suponer un incumplimiento de los supuestos para el caso de la variable altura. La misma tendencia se registró en las ecuaciones de volumen (datos no mostrados).

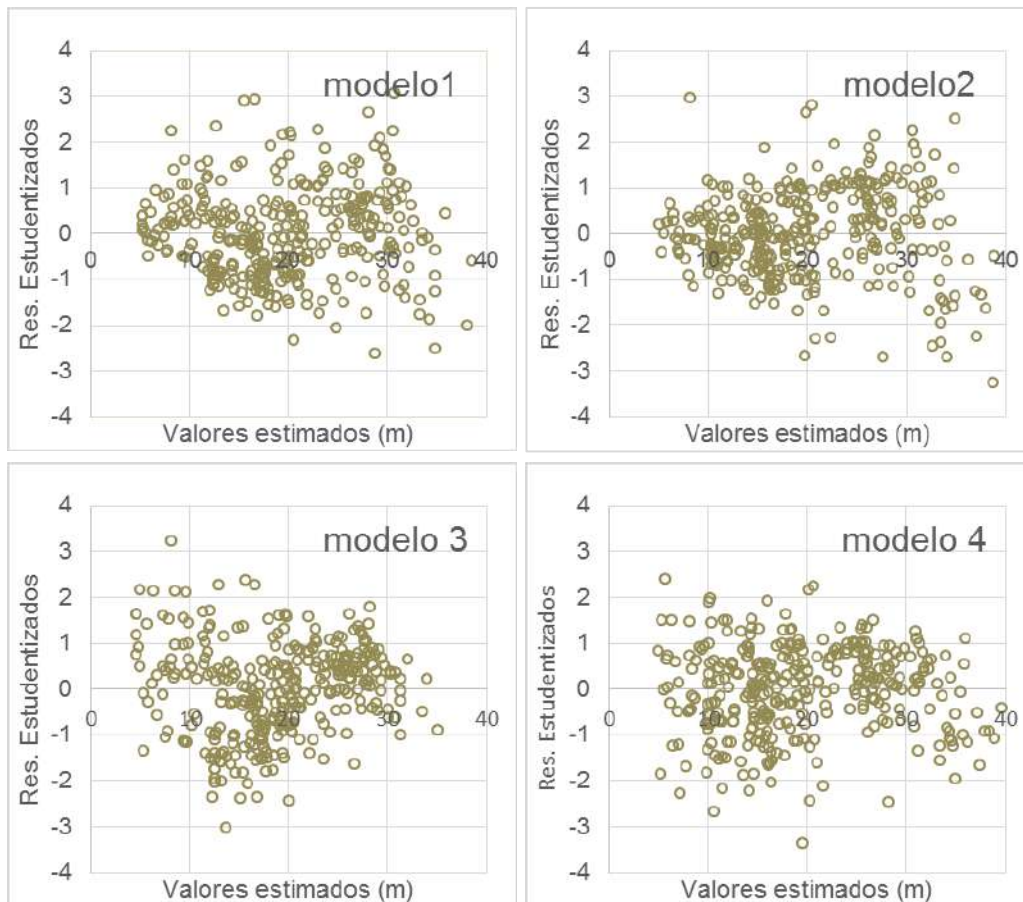


Figura 2. Relación entre los valores estimados y los residuos estudentizados.

En el caso de la altura los modelos obtenidos poseen un grado de precisión muy similar (Cuadro 2). Las diferencias observadas en los estadísticos de bondad de ajuste entre los modelos resultaron mínimas, siendo el modelo 4 levemente superior al resto, en concordancia con lo reportado por Barth et al. (2017), quienes también emplearon el dap y la edad como variables regresoras. Para los modelos considerados, la RCME varió entre 1,69 y 2,10, el R^2_{aj} entre 79 y 91 %. De acuerdo con el sesgo, se observa que todos los modelos sobreestiman la altura, pero la magnitud del modelo 4 fue ostensiblemente menor al resto de los modelos.

Tabla 2. Ecuaciones alométricas para la estimación de altura total y volumen en árboles de *E. dunnii*.

Y	a	b	c	R ₂ adj	RMSE	Sesgo	Mar	p(a)	p(b)	p(c)
	2,63384	0,82775		0,82	2,099	-0,040	0,82	<0.001	<0.001	
	-6,08112	0,63000	1,06479	0,89	1,741	-0,014	0,61	<0.001	<0.001	<0.001
	-4,85203	0,82775		0,79	2,099	-0,040	0,82	<0.001	<0.001	
h	0,38737	0,56439	0,47379	0,91	1,693	-0,004	0,60	<0.001	<0.001	<0.001
	-9,17637	2,69711		0,97	0,011	0,017	0,06	<0.001	<0.001	
	-9,04364	1,77118	0,83323	0,99	0,007	-0,051	0,06	<0.001	<0.001	<0.001
	-0,02347	0,00003		0,99	0,351	0,451	0,49	<0.001	<0.001	
vcc	0,00007	1,73704	1,03774		0,005	-0,023	0,05	<0.001	<0.001	<0.001
	-9,64156	2,782570		0,96	0,009	0,016	0,054	<0.001	<0.001	
	-9,48137	1,665110	1,005580	0,98	0,006	0,015	0,036	<0.001	<0.001	<0.001
	-0,00788	0,00002		99	0,003	0,017	0,033	<0.001	<0.001	
vsc	0,00003	1,698830	1,275020		0,002	-0,012	0,029	<0.001	<0.001	<0.001

Y: variable estimada, h: altura total (m), volumen con corteza (m³) volumen con corteza (m³); a, b y c: parámetros estimados. Estadísticos: R₂, coeficiente de determinación ajustado; RMSE: raíz del cuadrado medio del error, E⁻ Sesgo; MAR: media de los valores absolutos de los residuos.



En cuanto a la estimación de volumen con y sin corteza, el modelo 3, que considera el fuste afectado por un factor de forma, fue el que mayor RCME y sesgo presentó, por lo que fue descartado. Los modelos 2 y 4 mostraron los menores RCME y sesgo. El modelo no lineal (4) cumple las recomendaciones resumidas por Vanclay (1994): tener pocos parámetros, permitir una interpretación biológica, ser flexible brindando buenos resultados ante escenarios distintos y ser simple de aplicar. En su trabajo Barth et al. (2017) optaron por el modelo 2, que en definitiva es una versión lineal del modelo 4. En el presente reporte, todos los estadísticos considerados fueron ligeramente superiores en el modelo 4.

4. CONCLUSIONES

Las ecuaciones ajustadas en el presente trabajo permiten estimar la de altura y el volumen (con y sin corteza) de individuos de *Eucalyptus dunnii* de la zona norte de la región pampeana. El modelo más adecuado para estimar la altura es $\ln h = 0,38737 + 0,56439 * \ln dap + 0,47379 * \ln edad$. Para el volumen con corteza (vcc) y sin corteza (vsc) los modelos recomendados son: $vcc = 0,00007 * dap^{1,73704} * h^{1,03774}$, $vsc = 0,00003 * dap^{1,69883} * h^{1,275020}$.

5. AGRADECIMIENTOS

A los agentes Tulio Pisetta y Gonzalo Galasso del IRB (CIRN, INTA Castelar) por la colaboración en las tareas de campo. Este trabajo fue financiado parcialmente por los proyectos PEI016, PE146 y por las empresas involucradas.

6. BIBLIOGRAFIA

- ACHINELLI, F. G., GALARCO, S., PÉREZ, F., CIOCCHINI, R. G., GONZÁLEZ, A., & DONNA, F. 2017. Crecimiento de *Eucalyptus dunnii* Maiden en el noreste de la Pampa Deprimida de Buenos Aires. *XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos (Concordia, 2017)*.
- BARTH, S. R., FASSOLA, H. E., FERRERE, P., ALLEGRANZA, D., & PAHR, N. 2002. Modelos de crecimiento y producción de *Eucalyptus dunnii* (Maid) en la zona de Garuhapé, Misiones.
- DI RIENZO, JULIO & CASANOVES, FERNANDO & BALZARINI, MÓNICA & GONZALEZ, LAURA & TABLADA, MARGOT & ROBLEDO, CARLOS. 2008. InfoStat Versión 2011.
- DORADO, F. C., & GONZALEZ, J. A. 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basada en una función de perfil del tronco. *Forest Systems*, 9(2), 253-268.
- GEA L. 1986. Revisión de ensayos de *Eucalyptus spp.* en Buenos Aires y Santa Fe. Seminario CIEF del 23/06/1986. Informe Interno (inédito). Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales. Buenos Aires, Argentina, 33 pp.
- MARLATS R., PEREZ F. 1991. Selección de especies, orígenes y procedencias de *Eucalyptus*, resistentes a bajas temperaturas en plantas de vivero para el norte de la depresión del Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista INIA* 1991:151-161.
- MYERS, R. H., & MYERS, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications, 2, 488 pags. Belmont, CA: Duxbury press.
- VANCLAY, J. 1994. Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests



CARACTERIZACIÓN DE LAS RAMAS DE DOS CLONES DE EUCALIPTO Y SU RELACIÓN CON EL MANEJO DEL RODAL

Sergio O. RAMOS¹ y María de los Ángeles GARCÍA¹

RESUMEN

Algunos aspectos del manejo pueden determinar el tamaño y persistencia de las ramas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la cantidad, el tamaño y estado de las ramas y estudiar su relación con la orientación, el espaciamiento y la velocidad de oclusión de las heridas en lotes de 13 y 20 meses de edad de los clones de eucalipto EG INTA 152 y GC INTA 27. Los resultados indican que la cantidad de ramas no varía con el clon ni el espaciamiento, pero sí se observó en promedio más del doble de ramas vivas en el clon EG INTA 152 (84 %) en comparación con GC INTA 27 (41 %). Además, el diámetro de las ramas vivas resultó mayor que el de las ramas muertas, y la oclusión de las heridas de poda ocurrió antes en las ramas vivas que en las muertas, pero a diferente velocidad según el clon. Finalmente, no se encontró relación entre la radiación recibida según la orientación y el diámetro de las ramas.

Palabras clave: *diámetro de ramas; densidad del rodal; EG INTA 152; GC INTA 27*

1. INTRODUCCIÓN

El diámetro y el estado de las ramas son variables que afectan el tiempo operativo de la poda e influyen en la velocidad de oclusión de las heridas (Forrester et al., 2010; Smith et al., 2006; Sone et al., 2005). La luz incidente en la copa, por otro lado, es uno de los factores que afecta el crecimiento y estado de las ramas (Chen y Sumida, 2018; Sprugel, 2002). Según la orientación de las líneas de plantación, es decir, el diseño y espaciamiento del marco de plantación, la luz que llega a las ramas es variable.

La presencia de ramas afecta la calidad estructural y visual de la madera (Barrios et al., 2019; Nutto et al., s.f.). Entre las características para la descripción de las ramas de los materiales clonales de *Eucalyptus grandis* y de sus híbridos interespecíficos, De Las Heras y Harrand (2003) proponen el diámetro a la base, el ángulo de inserción, la abundancia y la persistencia, descritas a los 5 años de edad. Una caracterización del diámetro y estado de las ramas de los distintos materiales genéticos bajo diferentes condiciones de manejo a edades tempranas puede ser útil para ajustar los calendarios de poda (Kearney et al., 2007; Forrester et al., 2010; West y Smith, 2020), de manera de hacer más eficiente la tarea y propiciar la mayor velocidad de oclusión de la poda.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la cantidad, el tamaño y estado de las ramas de dos clones de eucalipto y estudiar su relación con el espaciamiento inicial, la orientación y la oclusión de poda, en lotes comerciales de 13 y 20 meses de edad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en lotes comerciales de los clones de *Eucalyptus grandis* EG INTA 152 y del híbrido *E. grandis x Eucalyptus camaldulensis* GC INTA 27, ubicados en campo El Alambrado del INTA Concordia (Concordia, Entre Ríos, 31° 16' 7,93" S, 57° 59' 7,93" O). El suelo corresponde a la serie Yuquerí chico (orden Udifluvente óxico), con paisaje de terrazas arenosas antiguas del río Uruguay (Bedendo et al., 2014). El clima corresponde a templado cálido (subtropical) sin estación seca (Ramos et al., 2018). Con densidades iniciales de 800 plantas por hectárea (pl/ha) y 667 pl/ha, distancia media de 5 m entre líneas y distancias de 2,5 m y 3 m entre plantas, las líneas se orientan en dirección SE-NO. Cada lote se dividió en dos partes en sentido SO-NE: una se podó en primavera, a los 13 meses

¹ Estación Experimental Agropecuaria Concordia INTA. Departamento Forestales. Ruta Prov. 22 y FFCC, estación Yuquerí CP 3200.email: ramos.sergio@inta.gob.ar



de edad, y la otra en invierno, a los 20 meses de edad, dejando en cada sector plantas con diferentes proporciones de copa remanente.

De cada clon, espaciamiento y edad se tomaron 6 plantas, se contaron las ramas en la porción del fuste entre 1,2 m y 1,4 m desde la base de las plantas y se midieron con calibrador digital los diámetros vertical y horizontal en milímetros, la orientación y el estado (viva o muerta). Según la orientación, a cada rama se le asignó el valor calculado de radiación anual promedio (kW h m^{-2}) mediante la aplicación JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).

En InfoStat (Di Rienzo et al., 2020), con tablas de contingencia se evaluaron las diferencias en la cantidad y el estado de las ramas según clon y espaciamiento. Con modelos lineales generales y mixtos se estudiaron diferencias en diámetro de acuerdo con la orientación y el estado de las ramas. Por otro lado, con tablas de contingencia se estudió la velocidad de oclusión de las heridas de poda según el espaciamiento y el estado de las ramas. Finalmente, se realizó un análisis de regresión lineal para estudiar la relación entre la radiación media anual recibida según la orientación de las ramas y su diámetro.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de ramas no mostró asociación significativa según clon y espaciamiento en los lotes de 13 meses ($P=0,335$) ni en los de 20 meses de edad ($P=0,627$) (Cuadro 1). En coincidencia, West y Smith (2020) y Kearney et al. (2007) mencionan que en un rango de densidades de rodal de 816 a 3333 árboles por hectárea no hay diferencias en la cantidad de ramas para dos especies de eucaliptos (*E. pilularis* y *E. grandis*).

Cuadro 1. Cantidad total de ramas en 1,2 -1,4 m del fuste desde la base de 6 plantas por clon y espaciamiento, en lotes de diferente edad.

Edad del lote	Clon	Espaciamiento	
		5 m x 2,5 m	5 m x 3 m
13	EG INTA 152	28	26
	GC INTA 27	23	31
20	EG INTA 152	28	30
	GC INTA 27	27	24

Al estudiar el estado de las ramas se observó asociación significativa según clon y espaciamiento, tanto en los lotes de 13 meses ($P>0,0001$) como en los de 20 meses de edad ($P<0,0001$) (Cuadro 2), donde el clon EG INTA 152 presenta aproximadamente el doble de ramas vivas en comparación con el clon híbrido. Al respecto, Kearney et al. (2007) concluyen que en espaciamientos iniciales mayores se observan ramas de mayores diámetros, más persistentes y que se mantienen vivas por más tiempo, y mencionan también diferencias entre las especies de eucalipto en cuanto a la cantidad de ramas vivas. De Las Heras y Harrand (2003) describen la persistencia de las ramas de un conjunto de clones de eucalipto en rodales de 5 años de edad, aunque definir criterios de poda de acuerdo con esa descripción resulta operativamente inconveniente, ya que, a las densidades de plantación habituales en esta región, el cierre de copas y la muerte y eliminación de las ramas de la parte inferior del fuste comienzan a ocurrir entre los 12 y los 18 meses de edad de las plantaciones, dependiendo de la calidad del sitio y de la densidad de plantación.

Cuadro 2. Ramas vivas (%) por clon y espaciamiento, de los lotes de dos edades diferentes.

Clon	Espaciamiento (m x m)	Lote de 13 meses de edad	Lote de 20 meses de edad
EG INTA 152	5 x 2,5	82	82
	5 x 3	85	87
GC INTA 27	5 x 2,5	35	44
	5 x 3	42	42

Al evaluar el diámetro de las ramas de acuerdo con su orientación, en el clon EG INTA 152 a la edad de 13 meses no se encontraron diferencias significativas ($P=0,1895$) ($E=11,3 \pm 1$ mm; $N=9,2 \pm 0,9$ mm; $O=8,8 \pm 0,9$ mm; $S=8,7 \pm 1$ mm), mientras que a los 20 meses de edad, las ramas orientadas al Este



presentaron diámetro medio significativamente mayor ($15,2 \pm 1,3$ mm) que los de las ramas al Norte ($10,6 \pm 1,1$ mm) y al Oeste ($11,2 \pm 1,3$ mm), sin diferenciarse en diámetro respecto de las orientadas al Sur ($11,2 \pm 1,5$ mm) ($P=0,0458$). En el clon GC INTA 27, en cambio, se observaron diferencias significativas del diámetro medio según la orientación de las ramas a la edad de 13 meses: el de las ramas orientadas al Este fue mayor ($11,3 \pm 1,2$ mm) que los diámetros medios de las ramas hacia el Norte ($6,5 \pm 0,9$ mm), Oeste ($6,2 \pm 1$ mm) y Sur ($5,4 \pm 1,2$ mm); el mismo resultado se observó en el lote de 20 meses de edad, donde también el diámetro medio de las ramas orientadas al Este ($10,4 \pm 0,9$ mm) resultó significativamente mayor ($P=0,0004$) que el de las orientadas al Norte ($6,1 \pm 0,9$ mm), Sur ($5,8 \pm 0,9$ mm) y Oeste ($5,4 \pm 0,9$ mm). Considerando que las ramas con diferente orientación reciben distinta cantidad de luz, y que ello afecta su tamaño y supervivencia, Chen y Sumida (2018) comparan el estado y tamaño de ramas de abeto expuestas a diferentes condiciones de luz, llegando a la conclusión de que es uno de los factores que afectan la supervivencia y el crecimiento de las ramas, pero que también dependen de la posición de la rama en el fuste.

Con respecto a diferencias en el diámetro medio de las ramas según el estado, en los lotes de 13 meses de edad de ambos clones, el diámetro medio de las ramas vivas fue significativamente mayor que el de las ramas muertas, resultado que se observó también en los lotes de 20 meses de edad (Figura 1). Kearney et al. (2007) menciona que las ramas de mayor diámetro son más persistentes y permanecen vivas por más tiempo, además de que muestran una respuesta más clara al espaciamiento.

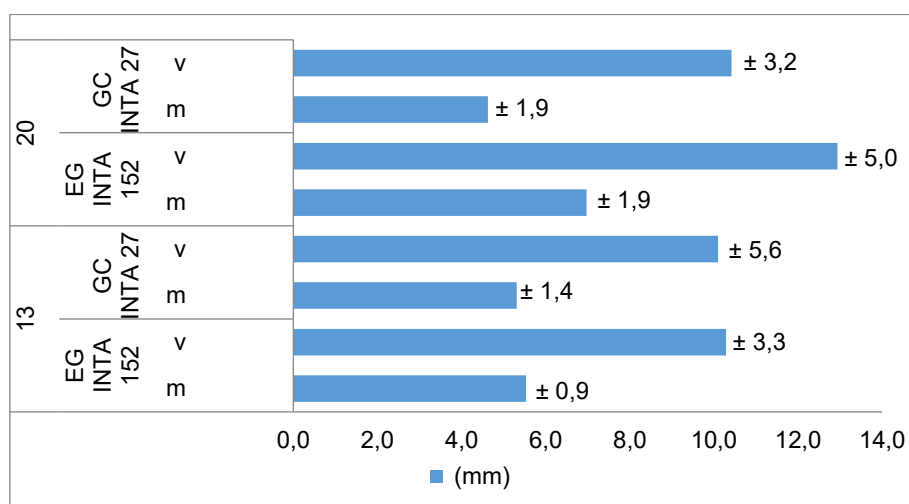


Figura 1. Diámetro medio y desvíos estándar de las ramas vivas (v) y muertas (m) según el clon, en los lotes de 13 y 20 meses de edad

Las interacciones entre el estado de las ramas y la orientación no fueron significativas en ninguno de los clones ni lotes.

Al evaluar la asociación entre la velocidad de oclusión de las heridas de poda y el estado de las ramas en la poda de primavera, en los lotes de 13 meses de edad los resultados mostraron que en el clon EG INTA 152, 3 meses después de la poda (MDP) el 26,7 % de los nudos vivos estaban ocluidos; a partir de los 5 MDP se observaron nudos muertos ocluidos (el 22,2 %), y se registró el 60 % de los nudos vivos ocluidos. Finalmente, en la evaluación de los 12 MDP, el 66,7 % de los nudos muertos y el 97,8 % de los nudos vivos se encontraban ocluidos.

En las plantas del clon híbrido GC INTA 27, 3 MDP se observó el 23,8 % de los nudos vivos ocluidos, sin nudos muertos cerrados aún. En la medición de 5 MDP ya se registró la oclusión del 6 % de los nudos muertos y 38 % de los nudos vivos. Luego la oclusión se hizo más lenta, en coincidencia con los meses de invierno. En la última evaluación, de 12 MDP, se observó que solo el 51,5 % de los nudos muertos y el 53,7 % de los nudos vivos podados habían cerrado.

En la poda de invierno, en los lotes de 20 meses de edad, hasta 5 MDP no se observaron nudos ocluidos. En el clon EG152, 6 MDP se observó el 8,2 % de nudos vivos ocluidos, mientras que recién



se registraron nudos muertos ocluidos (11,1 %) en la medición de 9 MDP, momento en el que el 46,9 % de nudos vivos ya lo estaban. A 12 MDP, la proporción de heridas de poda ocluidas fue de 63,3 % de los nudos vivos y de 44,4 % de los nudos muertos.

En las plantas del clon GC INTA 27 las heridas de poda de invierno comenzaron a cerrar 5 MDP, inicialmente solo de nudos muertos; sin embargo, 6 MDP el porcentaje de nudos vivos ocluidos (9,1 %) resultó mayor que la proporción de nudos muertos en igual condición (3,5 %). En ese clon, la oclusión de las heridas un año después de la poda solo alcanzó al 54,6 % de los nudos vivos y al 44,8 % de los nudos muertos.

Se observó que, independientemente de la época de poda y del estado de los nudos, el clon híbrido muestra menor velocidad de oclusión de las heridas de poda en comparación con el clon de *E. grandis*. García y Ramos (2021), al evaluar la evolución mensual de la oclusión de poda en los mismos clones, indican que el clon EG INTA 152 muestra oclusión más rápida de la poda que el GC INTA 27 y que la velocidad de oclusión es mayor en los meses estivales.

Smith et al. (2006), en un estudio donde evalúan la velocidad de oclusión de la poda en cuatro especies de eucalipto, entre ellos *E. grandis*, sugieren que las ramas vivas cierran a una tasa mayor que las ramas muertas, y que además existe una relación entre el estado y el diámetro de las ramas: las ramas vivas presentan mayor diámetro. Sin embargo, resaltan que las ramas de diámetros pequeños tardan menos tiempo en ocluir las heridas de poda. Indican también diferencias en cuanto a la persistencia de las ramas entre las especies.

Finalmente, el análisis de regresión no mostró relación lineal entre la radiación recibida según la orientación y el diámetro de las ramas. Sin embargo, pareciera tener un óptimo o potencial máximo de diámetro alrededor de los 1750 kW h m⁻² de radiación anual promedio y mínimos potenciales tanto por debajo como por encima de ese valor (Figura 2). Según Sone et al. (2004), el diámetro de las ramas depende de las condiciones de luz y de la demanda de fotosintatos que se asocia a la elongación del tallo.

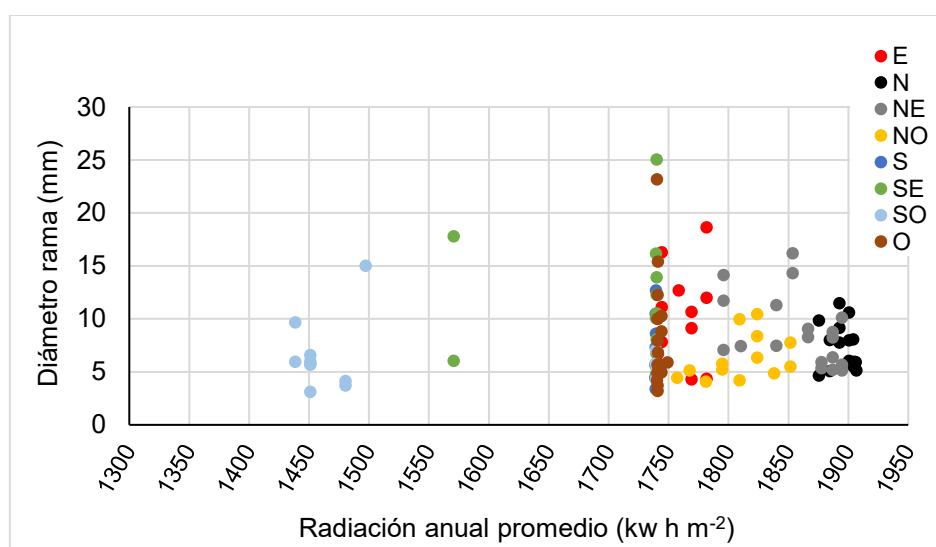


Figura 2. Diámetro de las ramas en función de la radiación anual promedio recibida, en los lotes de 20 meses de edad

4. CONCLUSIONES

El diámetro de las ramas vivas es mayor que el de las ramas muertas, y las heridas de poda cierran más rápido si las ramas están vivas, pero a diferente velocidad según el clon. Las diferencias entre clones se observan también en la proporción de ramas vivas que presentan en las dos edades de evaluación, siendo mayor en el clon EG INTA 152. Esto es importante tener en cuenta para ajustar el



momento de la poda, un atraso implicará mayor proporción de ramas muertas y mayores diámetros en las ramas vivas que en ambos casos retrasaran la cicatrización de la herida de poda.

Por último, la orientación de las ramas muestra efecto sobre el diámetro según la edad de evaluación y el clon, mientras que no se observa efecto en el diámetro de las ramas según la radiación media anual recibida.

5. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- BARRIOS, M. F.; MARTINEZ, M.; NEUHAUS, I.; STEFFEN DE BETIO, V.; HAMPEL VIEIRA FILHO, D.; GARCIA, M. A.; HARRAND, L.; MASTRANDREA, C. 2019. Número y diámetro de ramas en clones, híbridos y especies de *Eucalyptus* sp. En: Actas XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales de Misiones, 17-19 de octubre de 2019, El Dorado (Misiones, Argentina), pág. 612-613. Accesible en <https://www.jotefa.com.ar/storage/actas/2019/Actas%20JOTEFa%202019%20modificada.pdf>, consulta 28 julio 2022.
- BEDENDO, D.; SCHULZ, G.; PAUSICH, G.; TENTOR, F. 2014. Cartas de Suelos de Entre Ríos. GeoINTA. Consultado 16 mayo 2022. Disponible en: <http://visor.geointa.inta.gob.ar/?p=136>.
- CHEN, L.; SUMIDA, A. 2018. Effects of light on branch growth and death vary at different organization levels of branching units in Sakhalin spruce. *Trees* (2018) 32:1123–1134 <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1700-5>
- DE LAS HERAS, E.; HARRAND, L. 2003. Descriptor morfológico de clones de *Eucalyptus grandis* e híbridos interespecíficos. EEA Concordia, INTA, 22 pp. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anexo_ii_clones_de_eucalyptus.pdf. Consulta 28/07/22.
- DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FORRESTER, D.; MEDHURST, J. L.; WOOD, M.; BEADLE, C. L.; VALENCIA, J. C. 2010. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: An Australian perspective. *Forest Ecology and Management* 259 (2010) 1819–1835.
- GARCÍA M. A.; RAMOS, S. O. 2021. Efecto de la época y la intensidad de poda temprana sobre la cicatrización de las heridas en dos clones de eucalipto. y la intensidad de poda temprana sobre la cicatrización de las heridas en dos clones de eucalipto. Acta de disertaciones y trabajos voluntarios. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos, 14 y 15 de octubre de 2021, Concordia, Entre Ríos, pp. 76-80. Consultado 2 de agosto 2022. Disponible en: <https://www.jornadasforestales.com.ar/book/revista/revista19-10-2021a.pdf>.
- JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). S.f. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- KEARNEY, D.; JAMES, R.; MONTAGU, K.; GEOFF, R.; SMITH, Y B. 2007. The effect of initial planting density on branching characteristics of *Eucalyptus pilularis* and *E. grandis*. *Australian Forestry* 70 (4): 262–268.
- NUTTO, L.; TOUZA VÁZQUEZ, M. L C.; DELGADO, J. L. S.f. Producción de Madera de Calidad de Eucalipto. La poda – Conocimientos Fundamentales y Técnicas. Revista CIS Madera, pp. 35-45. Disponible en <https://fddocuments.ec/document/poda-eucalipto.html> Acceso 04/08/22
- RAMOS, S.; DE RUYVER, R.; GATTINONI, N.; GARIN, R.; GARRAN, S. 2018. Estación agrometeorológica del INTA Concordia: 50 años de servicio a la comunidad. Serie de extensión N°16 ISSN 1851-314. Ediciones INTA. Consultado 16 mayo 2022. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_50_anos_estacion_agrometeorologica_eea_concordia_inta.pdf.
- SMITH, R. G. B.; DINGLE, J.; KEARNEY, D.; MONTAGU, Y K. 2006. Branch occlusion after pruning in four contrasting sub-tropical eucalypt species. *Journal of Tropical Forest Science* 18(2): 117–123
- SONE, K.; NOGUCHI, K.; TERASHIMA, Y I. 2005. Dependency of branch diameter growth in young *Acer* trees on light availability and shoot elongation. *Tree Physiology* 25, 39–48.
- SPRUGEL, D. G. 2002. When branch autonomy fails: Milton's Law of resource availability and allocation. *Tree Physiology* 22, 1119–1124. DOI: 10.1093/treephys/25.1.3
- WEST, P. W.; SMITH, R. G. B. 2020. Effects of tree spacing on branch-size development during early growth of an experimental plantation of *Eucalyptus pilularis* in subtropical Australia, *Australian Forestry*, 83:1, 39-45, DOI: 10.1080/00049158.2020.1715016



PRODUCTIVIDAD DE MATERIALES COMERCIALES DE *Eucalyptus grandis* EN ENTRE RÍOS, ARGENTINA

Leonel HARRAND¹, G. P. Javier OBERSCHHELP², Carla S. SALTO³

RESUMEN

Eucalyptus grandis es una de las especies forestales de mayor difusión en las plantaciones de Argentina. Existen varias fuentes semilleras disponibles para utilizar como material de propagación, con diferentes grados de mejora genética, por lo que se instalaron ensayos de productividad en Entre Ríos (Argentina) para comparar su desempeño. Entre los 2 sitios implantados no se detectó interacción entre las fuentes semilleras y el sitio de plantación. La productividad entre las diferentes fuentes no difirió significativamente, con valores entre 444 m³/ha y 396 m³/ha a los 12 años de edad. Sí se encontró diferencia en la rectitud de los árboles de las fuentes de mayor grado de mejora. Se concluye que el uso de cualquiera de las fuentes semilleras que se encuentran disponibles en el mercado regional, poseen niveles de productividad comparables, existiendo una ligera ventaja en rectitud en los materiales con mayor grado de mejora genética.

Palabras clave: fuente semillera, crecimiento, eucalipto

1. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus grandis constituye hoy la principal latifoliada cultivada comercialmente en Argentina. Combina adecuadamente la rapidez de crecimiento con una buena forma de los árboles y su madera es apta para una variedad de usos industriales. La especie muestra además una muy buena adaptabilidad a las condiciones ecológicas generales imperantes en la región mesopotámica.

Los programas de mejoramiento genético forestal buscan identificar los mejores orígenes o procedencias de una especie y posteriormente los mejores individuos, que produzcan mayor y mejor madera para cierta región.

Las diferentes Fuentes Semilleras (FS) -rodales semilleros, huertos de progenies y huertos clonales- poseen diferentes niveles de intensidad de selección genética y también distintos orígenes de semilla, por lo que el resultado esperado de ellos puede ser diferente en lo que respecta a productividad volumétrica, rectitud de árboles, calidad de madera y tolerancia a estreses bióticos y abióticos.

Actualmente existen en el mercado, registradas en el INASE (Instituto Nacional de Semillas), varias alternativas de FS de *E. grandis*, de las cuales no siempre se encuentra respaldo informativo sobre su comportamiento en plantaciones y en el producto que se logra de estas. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue mostrar el comportamiento en crecimiento obtenido por 10 FS de *E. grandis*, en la zona de la costa del Río Uruguay, en Entre Ríos, en un turno completo de producción (12 años).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2009 se instalaron 5 ensayos de productividad cubriendo una amplia distribución latitudinal (desde Centro-Este de Entre Ríos hasta Sur de Misiones), con todas las FS que se encontraban disponibles en el mercado. De estos ensayos solo se poseen resultados hasta los 3 años de edad para un sitio instalado en la zona de Cnia. Yerúa (Concordia, Entre Ríos) y hasta los 12 años para un sitio en la zona de Berdúc (Colón, Entre Ríos).

¹ EEA INTA Concordia. harrand.leonel@inta.gob.ar

² EEA INTA Concordia. oberschelp.javier@inta.gob.ar

³ EEA INTA Concordia. salto.carla@inta.gob.ar



En el Cuadro 1 se detallan los datos de diseño de cada sitio evaluado. En el Cuadro 2 se listan las FS utilizadas (en el sitio Yerúa no se implantó el Tratamiento 9, HSC - Paul Forestal). Todas las plantas fueron producidas en bandejas multicelda de 90 cm³. El sitio Berduc, luego de la medición de los 3 años, se efectuó un raleo dirigido dejando el 50 % de las plantas inicialmente plantadas.

Se realizaron mediciones a los 3 años (ambos sitios), 6 años, 8 años y 12 años de implantados. Se midieron diámetro normal (en cm, con cinta diamétrica), altura total (en metros, con hipsómetro laser) y la rectitud de fuste, con una escala de 1 a 4 (en el año 3) y de 1 a 8 en las demás mediciones, siendo 1 los árboles de mayor rectitud. Con las mediciones realizadas, se estimó volumen individual de árbol (en m³) utilizando la fórmula de Fassola et al. (2007), el área basal (m²/ha) y volumen por ha (m³/ha).

Cuadro 1. Datos de los ensayos de Fuentes Semilleras de *Eucalyptus grandis* evaluados.

Sitio	Ubicación	Fecha plantación	Distancia plantación	Diseño	Situación del terreno
Yerúa	31° 13' 40" S 58° 13' 57" O	17/11/2009	3 m x 3 m	BCA 6 repeticiones Parcelas de 6 x 8 plantas	Plantación entre tocones. Ubicación medio-baja en el lote. Quema de residuos, subsolado y acamellonado de la línea. Glifosato en toda la superficie y rebrotes de tocones 10 días antes de plantación.
Berduc	31° 57' 27" S 58° 15' 16" O	28/09/2009	4 m x 2,5 m	BCA 5 repeticiones Parcelas de 6 x 8 plantas	Plantación sobre campo natural. Terreno: Loma y media loma. Suelo mestizo-arenoso. Rastra y acamellonado de la línea. Glifosato previo en todo el terreno.

Cuadro 2. Listado de Fuentes Semilleras utilizadas en los ensayos.

	Fuente Semillera ^(*)	Nro. INASE
1	RS Origen Kendall - INTA Concordia	5E3066JE
2	RS Origen Kendall - Pomera Maderas	2W6135JE
3	HSP - INTA Bella Vista	25W5750JE
4	HSP - INTA Montecarlo	59P7080JE
5	HSP - INTA Concordia	6E3066JE
6	HSP - INTA Concordia (selección 10 % Superior)**)	6E3066JE
7	HSC Cerro Moreno - INTA Concordia	53P3066JE
8	HSC - INTA Concordia	41E3066JE
9	HSC - Paul Forestal	20E5185JE
10	HSC Proc. Sudáfrica (Transvaal)	----

(*) RS: Rodal Semillero; HSP: Huerto Semillero de Progenies; HSC: Huerto Semillero Clonal

(**) Semilla proveniente del mismo HSP que T5, pero de cosecha dirigida a los árboles ubicados dentro del 10 % superior del ranking individual.

Para constatar la existencia de diferencias entre las diferentes FS, se realizó un ANOVA utilizando el PROC MIXED de SAS para todas las variables, a nivel de sitio y para cada edad de medición, y un análisis conjunto de sitios a la edad de 3 años. Se utilizó un modelo mixto, considerando como efectos fijos al Sitio, FS y la interacción entre ellos, y como aleatorio a los Bloques. Se estimaron los valores promedio ajustados para cada FS mediante la instrucción *lsmeans* y en el caso de existir diferencias significativas, se solicitó un ajuste de Tukey para las comparaciones múltiples entre medias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evaluaciones realizadas para todas las variables al 3º año de edad en los dos ensayos instalados en Entre Ríos no mostraron interacción significativa entre el sitio de plantación y la FS. A esta edad, en ambos sitios la sobrevivencia fue muy buena con un promedio de 89 % para Berduc y 93 % para Yerúa. En el Gráfico 1 se observa la diferencia de calidad en ambos sitios, siendo el sitio Berduc prácticamente el doble de productivo a esta edad que el sitio Yerúa.

En el sitio Yerúa, todas las variables, excepto la rectitud, mostraron diferencias significativas entre FS. Como FS menos productiva se encuentra el RS Kendall de INTA, material proveniente de un origen



australiano muy promisorio para la región de la Mesopotamia argentina, pero con un bajo grado de mejora genética. En el otro extremo se encuentran las FS 6, 7 y 3, materiales con un grado avanzado de mejora en las características de crecimiento y rectitud.

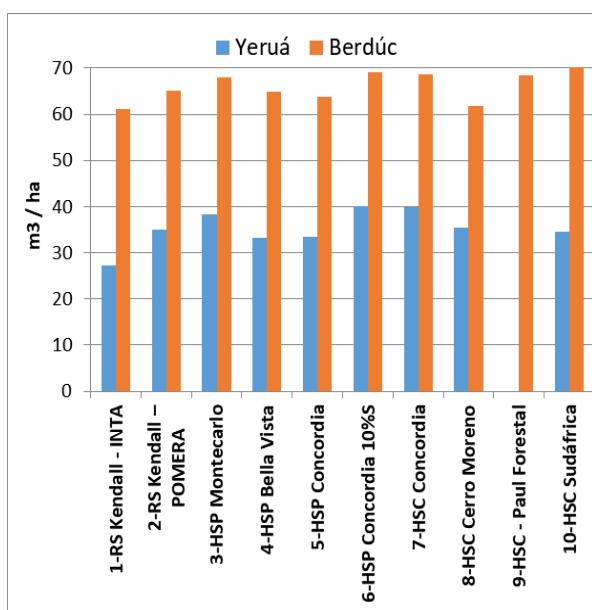


Gráfico 1. Volumen total con corteza por hectárea a los 3 años de implantado, para las 10 fuentes semilleras de *Eucalyptus grandis* evaluadas, en dos sitios de Entre Ríos de diferente calidad de suelo.

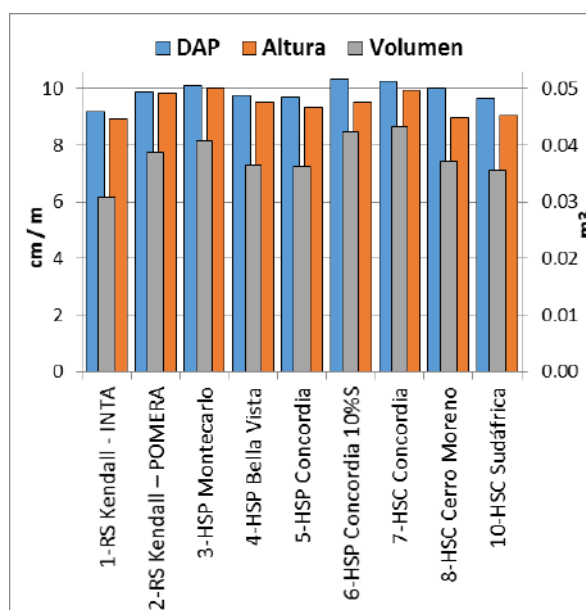


Gráfico 2. Diámetro normal, altura total y volumen individual a los 3 años de implantado, para las 9 fuentes semilleras de *Eucalyptus grandis* evaluadas en el sitio Yerúa (Entre Ríos).

En el sitio Berduc, a excepción de la rectitud, todas las demás variables analizadas no mostraron diferencias significativas entre FS, en ninguna de las edades de evaluación. En el Cuadro 3 se observa la rectitud promedio de los árboles para cada FS; a pesar de las diferencias de escala entre los diferentes años, debido a subjetividades del evaluador, el agrupamiento entre tipos de FS es similar, diferenciando las FS con mayor grado de mejora genética como las de mayor rectitud.

Cuadro 3. Rectitud de fuste para las diferentes fuentes semilleras evaluadas en el sitio Berduc. Menor valor indica mejor rectitud. Letras iguales, dentro del mismo año, agrupan FS sin diferencias significativas ($p < 5\%$).

Fuente Semillera	3 años		6 años		8 años		12 años	
1- RS Kendall - INTA	2,23	b	3,40	b	2,31	b	2,48	b
2- RS Kendall - POMERA	2,31	b	3,29	b	1,98	a b	2,62	b
3- HSP Montecarlo	2,16	b	3,14	a b	1,90	a b	2,53	b
4- HSP Bella Vista	2,28	b	2,99	a b	1,86	a b	2,50	b
5- HSP Concordia	2,18	b	3,12	a b	2,02	a b	2,45	b
6- HSP Concordia 10%S	2,28	b	2,71	a b	1,75	a b	2,18	a b
7- HSC Concordia	2,03	a b	2,85	a b	1,56	a	2,15	a b
8- HSC Cerro Moreno	1,72	a	2,30	a	1,58	a	2,06	a b
9- HSC Paul Forestal	2,05	a b	2,52	a b	1,55	a	1,69	a
10- HSC Sudáfrica	2,42	b	3,09	a b	2,06	a b	2,41	b

En lo que respecta al crecimiento, en el Gráfico 3 se observan los valores promedio a nivel de árbol, logrado para cada FS a los 12 años de edad. El diámetro normal rondó los 27 cm y la altura total los 34



Pomera Maderas se muestran con el mayor crecimiento, mientras que el HSC de INTA Concordia la de menor valor ($444 \text{ m}^3/\text{ha}$ vs $396 \text{ m}^3/\text{ha}$ a los 12 años). Coincidentemente con ello, estas FS difieren en la cantidad de plantas remanentes, donde las primeras poseen $480 \text{ pl}/\text{ha}$ y la última $430 \text{ pl}/\text{ha}$, afectando en parte esta diferencia al volumen total, dado que en diámetro individual los valores no difieren en gran medida (Gráfico 3). Se observa que a pesar de la edad de la plantación, el crecimiento de las plantas, expresado en el área basal de ocupación, aún no demuestra un estancamiento para ninguna de las FS (Gráfico 5).

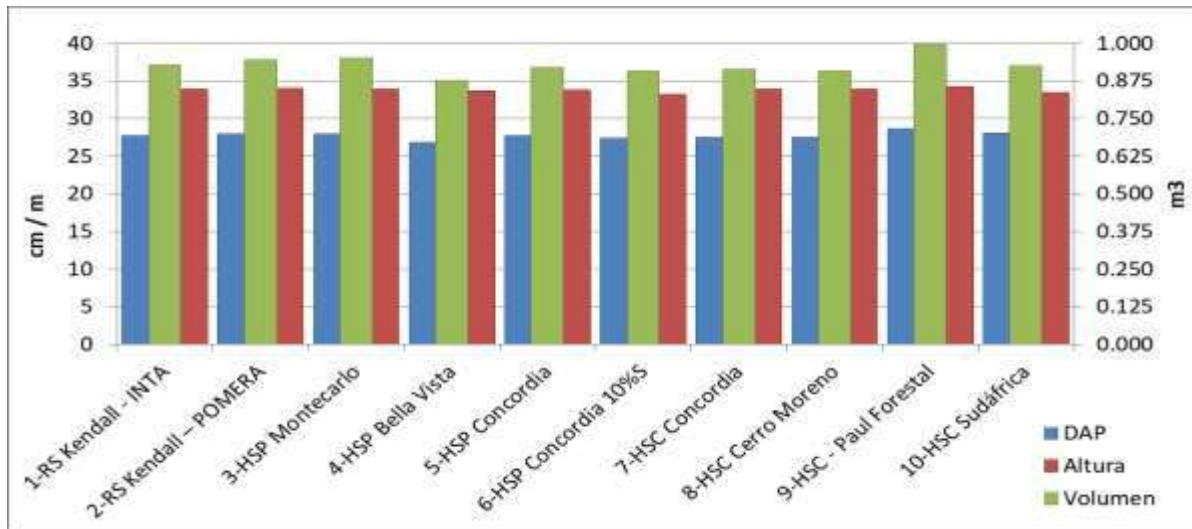


Gráfico 3. Diámetro normal, altura total y volumen individual a los 12 años de implantado, para las 10 fuentes semilleras de *Eucalyptus grandis* evaluadas en sitio Berduc (Entre Ríos).

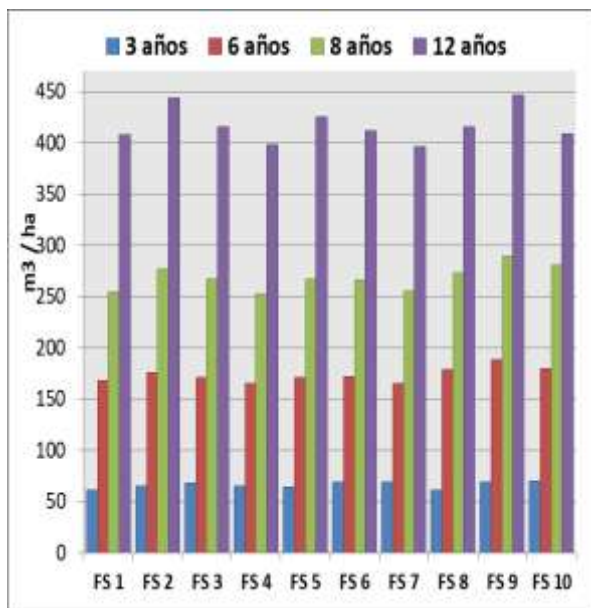


Gráfico 4. Crecimiento volumétrico por hectárea a diferentes edades para 10 fuentes semilleras evaluadas en el sitio Berduc (Entre Ríos).

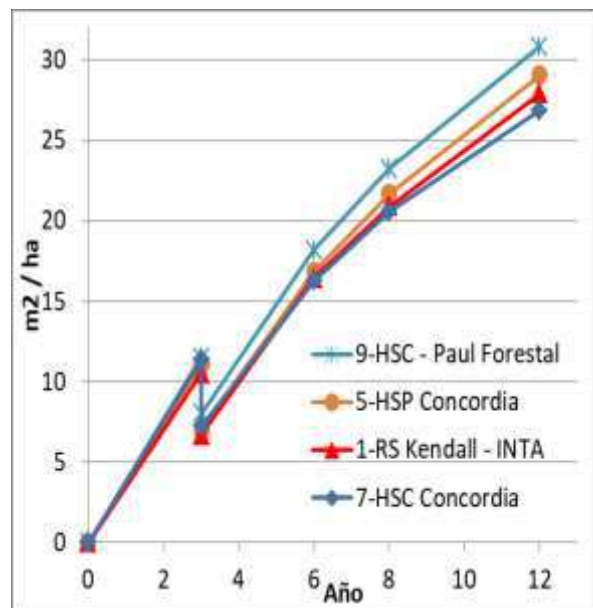


Gráfico 5. Evolución en área basal (m^2/ha) para algunas fuentes semilleras evaluadas en el sitio Berduc (Entre Ríos).

Los crecimientos obtenidos en estos ensayos concuerdan con muchos registros existentes para la región. Goya et al. (1997) informan rendimientos volumétricos de entre $29,8$ a $51,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, según la calidad del sitio, a los 14 años de edad, para Concordia (Entre Ríos), de *E. grandis* de semilla de procedencia sudafricana. Mientras que Marcó (1983) para los mismos sitios y fuente semillera, informa a los 4,5 años de edad, diámetros entre 12 y 16 cm y alturas entre 15 y 18 m. López (2011) menciona para diferentes calidades de sitio en Corrientes, crecimientos a los 10 años de entre $142 \text{ m}^3/\text{ha}$ y 355



m³/ha, para *E. grandis* proveniente de Sudáfrica, en densidades de plantación de 500 pl/ha. Aparicio et al. (2011) registran para un ensayo de productividad en Corrientes, diámetros medios entre 19 y 20 cm y volumen entre 205 y 215 m³/ha a los 8 años de edad, para varias de las FS evaluadas en este trabajo. Aparicio y Canizza (2017) tuvieron rendimientos de 175 m³/ha (RS Kendall INTA) y 220 m³/ha (HSP Concordia) a los 7 años de edad en un sitio de planicies arenosas en Corrientes. Monteverde et al. (2020) mencionan para un ensayo en la zona del delta entrerriano, crecimientos individuales promedio de *E. grandis*, a los 6 años, de 16,0 cm en diámetro y 18,6 m en altura para la FS RS Kendal-POMERA y de 15,4 cm de diámetro y 18,6 m de altura para la FS HSP INTA Montecarlo.

Observando la productividad de *E. grandis* en otros países de la región, se informa en ensayos de progenies de 3,5 años en Brasil y Uruguay, incrementos medios anuales entre 20,5 a 48,4 m³/ha/año (Silva et al., 2019). Methol et al (2005) mencionan diámetros promedios entre 17 y 20 cm y alturas entre 13,7 y 14,7 m a los 4,5 años de edad, según densidad de plantas de las parcelas.

Los resultados muestran que la rectitud de los árboles logra mejorarse en mayor grado que el crecimiento volumétrico, vinculado a la diferencia en heredabilidad que suelen presentar estas características. El programa de mejoramiento genético de INTA se caracteriza por una base genética amplia, como resguardo ante problemas emergentes; esta estrategia sacrifica ganancia genética, y esta podría ser una de las razones por la cual no se diferencian significativamente las FS de INTA de mayor grado de mejora con respecto a las poblaciones base.

4. CONCLUSIONES

Podemos afirmar que las fuentes semilleras evaluadas, poseen niveles de productividad semejantes en estos sitios y bajo los esquemas de manejo empleados, existiendo una mejor rectitud en los materiales con mayor grado de mejora genética. Esto permite sustentar las plantaciones de eucaliptos con material genéticamente diverso sin afectar la productividad, lo cual contribuye al desarrollo de un sistema más sostenible.

Es necesario reforzar estas evaluaciones en otras regiones donde se realizan plantaciones con *Eucalyptus grandis*, para corroborar el comportamiento de todas las fuentes semilleras.

5. LITERATURA CITADA

- APARICIO, J.L.; CANIZA, F.J.; LARROCCA, F. 2011. Crecimiento y caracteres de la madera de materiales genéticos de *Eucalyptus grandis* con manejo para uso sólido en un suelo "malezal". Resultados a los 8 años de edad" Reunión conjunta Consorcios Forestales Corrientes Norte, Corrientes Centro y Río Uruguay. 11 p
- APARICIO, J.L.; CANIZA, F.J. 2017. Productividad de clones de *Eucalyptus grandis* en planicies arenosas de Corrientes. Resultados a los 7 años de edad. XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos.
- FASSOLA, H.E.; CRECHI, E.H.; KELLER, A.E.; BARTH, S.R.; 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 Región Mesopotámica, *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis*, parcial para *Pinus taeda*. Informe técnico n° 61. INTA EEA Montecarlo. 103 p.
- GOYA, J.F.; FRANGI, J.L.; DALLA TEA, F. 1997. Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 102 (1), 1997.
- LOPEZ, A.J. 2011. *Eucalyptus grandis* en el sudeste de Corrientes: propiedades físicas y químicas del suelo relacionadas con la producción volumétrica. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. 7 p.
- MARCÓ, M.A. 1983. Comportamiento del *E. grandis* local en relación a procedencias introducidas de Sudáfrica. Resultados a los 4,5 años. Carpeta de Información Forestal. EEA INTA Concordia. 5 p.
- MONTEVERDE, M.S.; SCHAPOVALOFF, J.; RAUTE, G.; FOSCO, I.; AUSTIN, R. 2020. Evaluación de nuevas especies de eucaliptos para frío en el delta bonaerense. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. pp 16-20
- SILVA, P.H.M.; MARCÓ, M.; ALVARES, C.A.; LEE, D.; MORAES, M.L.T. 2019. Selection of *Eucalyptus grandis* families across contrasting environmental conditions. Crop Breeding and Applied Biotechnology 19:47-54. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332019v19n1a07>
- METHOL, R.; BALMELLI, G.; RESQUÍN, F. 2005. Evaluación al tercer año de distintos esquemas de raleo en *Eucalyptus grandis*. INIA Serie Actividades de Difusión. 3 p.



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE CULOT SOBRE EL CRECIMIENTO DE *Eucalyptus globulus* Labill. EN MACIZOS DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Laura GIAMBELLUCA^{1,5}, Florencia BONGIORNO¹, Luciano LARRIEU^{1,5}, Guillermo MILLAN^{1,5}, Víctor MERANI^{1,5}, Fernando ARCHUBY^{2,3}, Fabio ACHINELLI^{1,4}

RESUMEN

En este trabajo se evaluó estadísticamente la asociación entre dos indicadores de calidad de sitio para *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: el índice de sitio (IS) y el índice de productividad edáfica (IP) de Culot. Para la muestra estudiada (48 parcelas) no se encontraron asociaciones estadísticamente significativas entre el IS y las cuatro variantes de IP analizadas, lo cual limita fuertemente la aplicabilidad de este último en los predios donde es necesario evaluar la productividad potencial en ausencia de rodales de la especie.

Palabras clave: *calidad de sitio, fitocéntrico, geocéntrico, rendimiento*

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de sitio forestal, definida como la producción máxima de madera que puede alcanzarse en un rodal con una especie y en un tiempo determinado, es uno de los factores más relevantes que el productor debe considerar para tomar decisiones. La presencia de rodales de la especie de interés constituye una ventaja considerable para determinar la calidad de sitio, ya que permite utilizar métodos denominados fitocéntricos basados en el rendimiento o el índice de sitio. En el primer caso se trata de un método directo, ya que la calidad de sitio se expresa en unidades de rendimiento como $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ de madera, mientras que en el caso del índice de sitio (IS) esta calidad se cuantifica en forma indirecta a través de la altura media de los árboles dominantes alcanzada a una edad de referencia. Cuando, por el contrario, no hay historia previa de cultivo o los rodales son muy escasos, se hace necesario recurrir a métodos geocéntricos, que comprenden variables vinculadas con el clima, el suelo y/o fisiográficos (Weiskittel et al., 2011). La lógica de los métodos geocéntricos se basa en la confrontación de los requerimientos y tolerancias ambientales de la especie con las cualidades edafoclimáticas del sitio, estableciendo distintas clases de aptitud mediante índices de productividad o sistemas expertos (Lupi et al., 2019). Lo ideal es que ambos enfoques se puedan usar en forma complementaria, y poder evaluar calidad de sitio en localidades que tengan o no presencia de rodales. Para que esto sea posible, es necesario que el indicador geocéntrico (ej. variable edáfica) se relacione lo más estrechamente posible con el indicador fitocéntrico (ej. el IS). Esto ocurre en algunos casos, donde clasificaciones por aptitud edáfica explican entre el 65 % y el 85 % del rendimiento o del IS, pero en otros la relación es mucho más débil (Carmean, 1975), razón por la cual los métodos fitocéntricos están más difundidos (Skovsgaard y Vanclay, 2008) y se utilizan toda vez que sea posible. La región sudeste es la segunda cuenca forestal en importancia de la provincia de Buenos Aires. Allí, el recurso está compuesto principalmente por macizos y cortinas de *Eucalyptus globulus* Labill. El desarrollo de la misma se inició a partir de cortinas y montes de reparo, a lo que continuó una etapa de gran expansión de la superficie

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ CEIDE - UNLP

⁴ Profesional de Apoyo CIC, Buenos Aires; fachinel@gmail.com; cel.: + 54 9 221 5 225 578

⁵ CISSAF-UNLP



de macizos a fines de los años noventa del siglo pasado, llegando a sumar 5622 ha (MAA Buenos Aires, 2011).

En la etapa inicial, y con plantaciones escasas y dispersas, resultó necesario contar con información que orientara los trabajos de plantación respecto de la aptitud de los suelos, generándose indicadores geocéntricos a través de un mapa de aptitud (Culot y Dillon, 1998) y una caracterización edafoclimática para la especie mediante un índice de productividad, IP (Culot, 2000). Posteriormente, el trabajo de inventario de macizos (MAA Buenos Aires, 2011) permitió contar con datos de parcelas temporarias, ajustándose un modelo anamórfico de índice de sitio para la edad índice de 15 años (Achinelli et al., 2017). Pese a que en la actualidad ambos métodos son aplicables en el sudeste, no se ha evaluado el tipo y la magnitud de la relación que cabría esperar entre ambos indicadores, y por tanto se desconoce si pueden utilizarse en forma complementaria. En función de este interrogante, en este trabajo se evaluó la asociación del IP de Culot (2000) con el IS (Achinelli et al., 2017) de rodales de *E. gobulus* en el sudeste de Buenos Aires, y la aplicabilidad del IP como indicador indirecto de calidad de sitio para la especie.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó sobre una base de datos de 48 parcelas de muestreo (PM) de edad conocida (años). Estas parcelas fueron georeferenciadas con GPS, y en ellas se relevaron en campo variables estructurales de los rodales como diámetro a la altura del pecho (DAP; cm), altura total (At; m), altura media de los árboles dominantes (AMD; m) (Assmann, 1970), volumen total con corteza de madera (V; m³) de los ejemplares, incremento medio anual en volumen de madera (IMA; m³ ha⁻¹ año⁻¹), así como los distanciamientos de plantación, siguiendo el mismo procedimiento del inventario de macizos del año 2011 (MAA Buenos Aires, 2011). Las PM seleccionadas en este trabajo tuvieron una densidad “completa” (escasas fallas o ninguna), y se encontraban ubicadas dentro de un radio de 100 km de distancia en línea recta desde el puerto de Quequén, Provincia de Buenos Aires.

Indicador fitocéntrico de calidad de sitio.

A partir de los datos estructurales y de edad mencionados, se calculó para cada PM el índice de sitio para la edad de referencia de 15 años (IS; m), de acuerdo con el modelo propuesto por Achinelli et al. (2017). El IS resulta más adecuado que el IMA para evaluar calidad de sitio porque se ve menos afectado por variaciones en la densidad del rodal (Skovsgaard y Vanclay, 2008), y por ese motivo se tomó como referencia para evaluar su asociación con el IP de Culot (2000).

Indicadores geocéntricos de calidad de sitio.

Se calcularon tres índices de productividad edáficos propuestos por Culot (2000) para cada PM y con escalas de detalle crecientes: el índice de productividad de la unidad cartográfica (SAGyP-INTA, 1990) en la cual se identificó la PM (IPC), el índice de productividad de la serie de suelos identificada para la PM (IPS) y el índice de productividad que se asocia a la fase de la serie en la que se encontró la PM (IPF). La información necesaria para los cálculos se obtuvo mediante trabajos en campo, en gabinete y en laboratorio. Así, en cada PM se llevó a cabo un muestreo de suelo con barreno hasta 1 m de profundidad o hasta el horizonte petrocálcico, separando muestras a intervalos de 0,1 m; cada muestra fue conformada por tres submuestras. Con las coordenadas GPS de cada PM se ingresó en el Visor GeoINTA y en un entorno QGIS, a fin de identificar en qué unidad cartográfica estaba comprendida la misma. Una vez conocida la unidad cartográfica, se prosiguió con determinaciones en laboratorio para identificar la serie y fase de suelo correspondiente a las PM; estas determinaciones estuvieron basadas principalmente en análisis de carbono orgánico, pH (medición potenciométrica en una relación suelo-agua 1:2,5), fósforo asimilable (Bray-Kurtz N°1) y textura por el método de Bouyoucos (SAMPLA, 2004). Puesto que el modelo de Culot (2000) implementa, para el cálculo de los IP, variables tales como el espesor y textura del horizonte superficial, pH, espesor y profundidad de aparición de los moteados, entre otras, se optó por utilizar los datos de los perfiles típicos de la serie identificada para cada PM, compilados en las cartas de suelo del INTA (SAGyP-INTA, 1990), ya que constituye la información más accesible que utilizarían técnicos y productores para realizar dichos cálculos.



El IP propuesto por Culot (2000) es un índice que varía en una escala relativa de 0-100, y que evoluciona en forma directa con la aptitud del suelo para *E. globulus*. El autor propuso cuatro clases: 1= suelos muy aptos ($IP > 70$); 2= suelos aptos ($55 < IP \leq 70$), 3= suelos poco aptos ($40 \leq IP \leq 55$) y 4= suelos no aptos ($IP < 40$). El método se basa en 8 variables edáficas para determinar el IPS, entre los que se destacan: espesor del horizonte A, profundidad efectiva, pH superficial, presencia de calcáreo, y profundidad de aparición de moteados, entre otros. Para el cálculo del IPF (mayor detalle) se tienen en cuenta atributos que pueden determinar variantes como fase anegable o fase engrosada. Posteriormente, el IPC caracteriza una unidad cartográfica completa, e incluye en su cálculo los IPS de dos o más series, ponderados por la participación relativa de cada una en la unidad. La información detallada sobre el método para calcular los IP puede encontrarse en Culot (2000).

Asociación entre el indicador fitocéntrico (IS) y los indicadores geocéntricos (IP).

Para determinar estadísticamente la asociación entre estos indicadores, se analizó la correlación paramétrica de Pearson, mientras que para evaluar la asociación de IS con las categorías de aptitud se aplicó el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (Zar, 2010). Los gráficos y los análisis se realizaron en el entorno R versión 4.1.2 (R Core Team, 2022).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La base de datos analizada incluyó rodales de características diversas, con un rango de edades de las plantaciones de 13 a 30 años (promedio= 17 años), IMA de 11,5 a 42,2 $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ (promedio= 23,5 $m^3 ha^{-1} año^{-1}$), e IS con valores de entre 17,4 y 36,1 m (promedio= 25,2 m). Los sitios de las PM se localizaron a distancias al mar de 1,3 a 65,5 km (promedio= 32,7 km), identificándose 14 series de suelo, siendo las de mayor frecuencia Tres Arroyos (31,2 %), Mar del Plata (20,8 %) y Necochea (18,75 %), mientras que por ejemplo La Malacara y Balcarce sólo tuvieron una parcela cada una (2 % de la muestra cada una). En cuanto a los IPS, se encontraron valores de 1,84 a 85,4 (promedio= 59,9), para los IPF se registraron valores de 1,84 a 85,4 (promedio= 60,0), en tanto que para los IPC los valores fluctuaron entre 10,2 y 79,8 (promedio= 55,1); tomando los registros de IPC según la clasificación de Culot (2000), el 54,1 % de las PM se ubica en unidades cartográficas “aptas” para la especie, mientras que el 29,1 % se ubica en unidades “poco aptas” y el 12,5 % en unidades “no aptas”; sólo el 4,2 % de las PM se clasificó en unidades “muy aptas”.

Una de las ventajas con las que cuenta este trabajo, a diferencia de las investigaciones pioneras de Culot (2000), es que se tiene a disposición información que permite estimar indicadores fitocéntricos de respuesta del cultivo en función de la capacidad productiva del sitio (factores edafoclimáticos). Los árboles, en interacción permanente con el ambiente y en el transcurso de su desarrollo, traducen esta interacción en variables estructurales, como el incremento medio anual en volumen de madera con corteza (IMA) y el crecimiento en altura de los árboles dominantes a una edad de referencia (IS). Para la muestra analizada, se observa que ambos indicadores fitocéntricos están estrechamente asociados, mediante una relación directa ($r = 0,918$).

Asociación del IS con los IP a escalas de detalle crecientes.

Un primer análisis de la asociación IS – IP se podría realizar simulando una situación productiva en la cual un productor agropecuario del sudeste, sin antecedentes forestales, desea indagar sobre la aptitud de su lote para cultivar *E. globulus*, y en primera instancia ubica su establecimiento en el mapa de aptitud de suelos (Culot y Dillon, 1998). En ese caso, el mapa indicará cuatro categorías posibles: 1 (muy apto), 2 (apto), 3 (poco apto) y 4 (no apto). Si la situación hipotética anterior estuviera contemplada en alguna de las 48 PM de este trabajo, se vería que la clasificación obtenida no tiene en principio utilidad práctica, ya que la asociación entre el IS de las PM y las categorías de aptitud es estadísticamente no significativa (coeficiente de correlación por rangos de Spearman, $r = 0,027$; $p = 0,85$) (Figura 1-A). La ausencia de asociación significativa entre IP y las categorías de Culot (2000) y Culot y Dillon (1998) puede deberse a diversas causas. En primer lugar, el presente trabajo tiene algunas limitaciones vinculadas con la base de datos utilizada, la cual deriva de un muestreo que *a priori* no estuvo diseñado para captar en forma balanceada la variabilidad de los rodales según la categoría de



aptitud de la unidad cartográfica en donde estaban ubicados. Lo mencionado puede apreciarse en la Figura 1-A, en donde hay categorías con elevada frecuencia en contraste con otras en donde quedaron comprendidas muy pocas PM. Más allá de esta limitación, la propia categorización de Culot (2000) reduce el rango de variación del IPC de 0 - 100 a una escala mucho más reducida (1 - 4) y en donde además, las categorías tienen rangos diferentes.

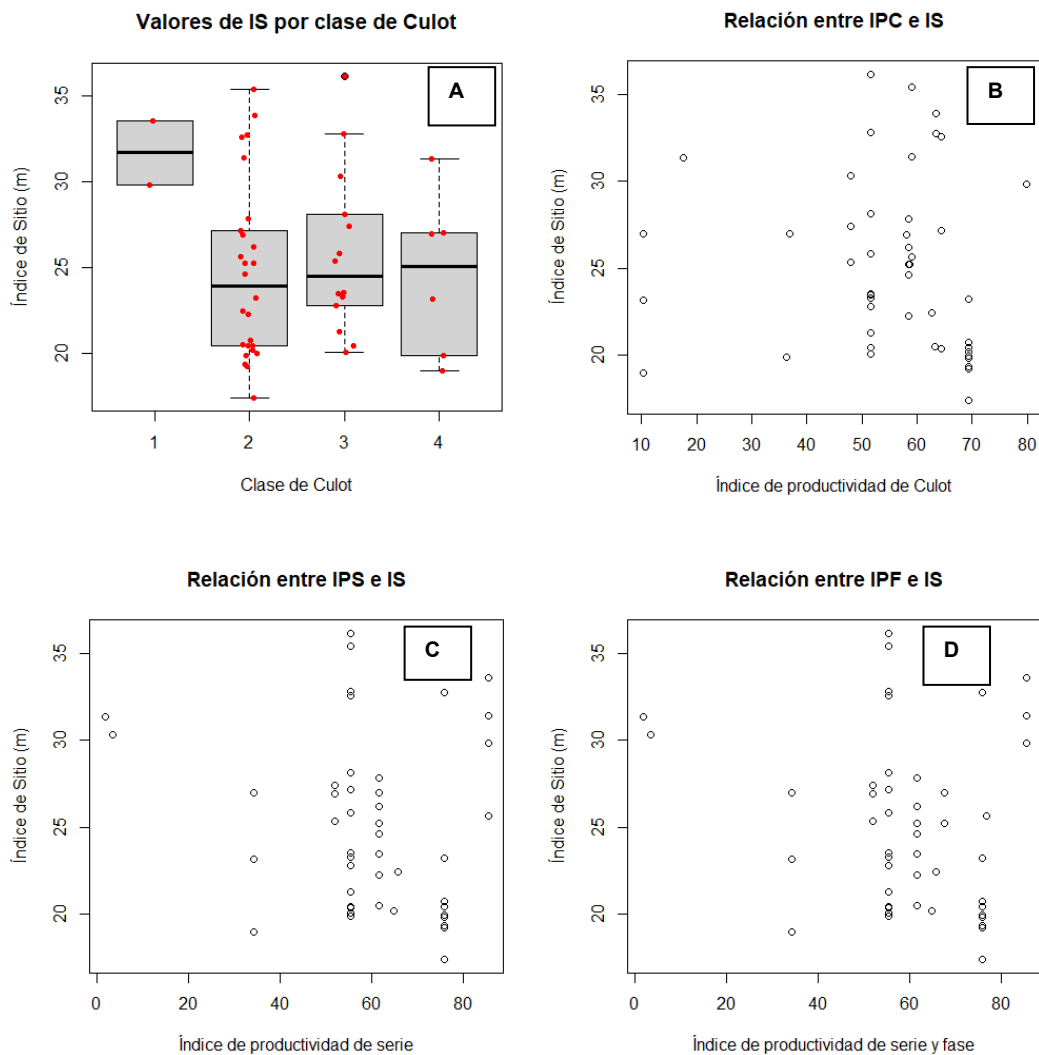


Figura 1. Variación del índice de sitio (IS; m) a la edad de referencia de 15 años (Achinelli et al., 2017) para una muestra de 48 rodales de *E. globulus* del sudeste bonaerense, con respecto al índice de productividad (IP) de Culot (2000) en sus variantes: aptitud de la unidad cartográfica categorizada (A); IP de la unidad cartográfica en escala 0 – 100 (IPC, B); aptitud de la serie de suelo (IPS, C) y aptitud de la serie y fase de suelo (IPF, D).

De todos modos, cuando se analiza la asociación entre el IS y el IPC en forma directa, es decir sin la categorización, se observa que la misma también carece de significancia estadística (coeficiente de correlación de Pearson $r = -0,020$; $p=0,893$) (Figura 1-B). En este último caso, la ausencia de asociación puede deberse en parte a que el IPC computa las variables edáficas de más de una serie dentro de la unidad cartográfica, y que por su reducida extensión cada PM se ubica en una serie solamente.

También es factible que el productor, asesorado por un técnico, pueda recabar información más detallada de las características edáficas del lote candidato a forestar, y como resultado de ello, realice los cálculos necesarios para estimar el IPS e IPF del sitio. Sin embargo, cuando se simula estas dos situaciones con los datos del muestreo realizado en este trabajo, se observa que tanto para IS – IPS, como para IS- IPF las asociaciones carecen de significancia estadística ($r = -0,126$; $p=0,394$; y $r = -0,125$;



$p=0,396$ respectivamente) (Figura 1, C y D). En Argentina, los antecedentes sobre el tema son escasos y han alcanzado resultados diversos. El trabajo de Davel y Ortega (2003) obtuvo resultados satisfactorios, logrando explicar el 67% de la variabilidad del IS para pino oregón a partir de modelos con variables ambientales. Sin embargo, otros trabajos con *Populus* spp. como el de Baridon et al. (2005) no encontraron vinculación entre el rendimiento e indicadores geocéntricos de sitio.

4. CONSIDERACIONES FINALES

La ausencia de asociación estadísticamente significativa entre el IS de Achinelli et al. (2017) y las variantes del IP de Culot (2000) ponen en evidencia que este último es de escasa utilidad práctica para evaluar la calidad de sitio para *E. globulus* en el sudeste de Buenos Aires, al menos para la muestra de rodales estudiada y a escala de lote. No obstante ello, el trabajo de Culot (2000) constituye un valioso punto de partida para continuar con el desarrollo de una versión mejorada de indicador geocéntrico que pueda ser utilizado para estimar aptitud productiva en ausencia de rodales en el predio o en predios cercanos.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se está siendo financiada por el Proyecto de Incentivos 11 A 350 de la Universidad Nacional de La Plata. La base de datos utilizada se obtuvo con financiamiento del Proyecto de Investigación Aplicada 14011 del Ministerio de Agroindustria

6. LITERATURA CITADA

- ACHINELLI, F.; GOYA, J.; GALARCO, S.; LARRIEU, L.; ARTURI, M. 2017. Ajuste preliminar de un modelo de rendimiento para *Eucalyptus globulus* Labill. en macizos del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Actas de las XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos, 5 y 6 de Octubre, Concordia, Entre Ríos, Argentina. 5 pp.
- ASSMANN, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford, 506 pp.
- BARIDÓN, E. J.; R. M. MARLATS; J. W. LANFRANCO; A. PELLEGRINI. 2005. Productividad de *Populus deltoides* en Argiudoles y Hapludoles de la Pampa húmeda. Relación con índices indirectos de sitio. Quebracho, Revista de la Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina. p. 43- 53.
- CARMEAN, W. H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy* 27:207-269.
- CULOT, J.; DILLON, G. 1998. Mapa de aptitud de suelos para *Eucalyptus globulus*. Universidad Nacional de Mar del Plata-SOPORCEL.
- CULOT J. P. 2000. Caracterización edafo-climática de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires para *Eucalyptus globulus*. Primer seminario Internacional del *Eucalyptus globulus* en la Argentina, Mar del Plata, Argentina, pp. 2-9.
- DAVEL, M y A ORTEGA. 2003. Estimación del índice de sitio para pino oregón a partir de variables ambientales en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 24: 55-69.
- MINISTERIO DE ASUNTOS AGRARIOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (MAA BUENOS AIRES). 2011. Inventario de macizos Forestales de *Eucalyptus globulus* Labill. en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. 30 pp.
- LUPI, A.M., ANGELINI, M., CIVEIRA, G. y J. IRIGOIN. 2019. Aptitud forestal de las tierras no agrícolas del norte de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Rev. Fac. Agron.* Vol 118 (2): 1-18.
- R CORE TEAM. 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. . [En línea] : [Fecha de consulta: 2-8-2022] Disponible en: <https://www.r-project.org>
- SAGyP – INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Proyecto PNUD Arg-85/019, Buenos Aires. Dos tomos, 1600 p. 39 mapas.
- SAMLA. 2004. Sistema de apoyo metodológico para laboratorios agropecuarios. Recopilación de técnicas de laboratorio. Formato CD-ROM. ISBN 987-9184-40-8
- SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. 2008. Forest site productivity: A review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81: 13-31.
- WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; KERSHAW, J. A; VANCLAY, J. K. 2011. Forest growth and yield modeling. Wiley-Blackwell, Oxford, 415 pp.
- ZAR, J. H. 2010. Biostatistical analysis (5th ed.). Pearson Prentice Hall. 944 pp.



EFFECTOS DEL RALEO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCCIÓN DE *Araucaria angustifolia* HASTA LOS 34 AÑOS EN EL NOROESTE DE MISIONES, ARGENTINA

Aldo KELLER¹, Ernesto CRECHI¹, Diego AQUINO¹, Sara BARTH¹, Mariano DI STASI²,
Cristhian CARAZZO², Diego CRISTALDO², Juan SCHAPOVALOFF²

RESUMEN

Araucaria angustifolia o pino Paraná es una especie nativa de la zona noreste de la provincia de Misiones. Durante décadas fue cultivada para el abastecimiento de industrias pulpables, aserrables y laminables, sobre todo en la zona noroeste de la provincia, alcanzando unas 30 mil hectáreas. Con el objetivo de evaluar diferentes manejos posibles a aplicar en plantaciones y definir las mejores opciones para abastecer a diferentes industrias, se instaló un ensayo con 7 tratamientos, donde se probaron diferentes combinaciones de intensidad (33 y 66% en términos de área basal) y frecuencia de raleos (cada 2, 4 y 6 años). Las mediciones se realizaron desde los 5 hasta los 34 años. Los resultados obtenidos muestran que el volumen total obtenido fue mayor cuando se realizaron raleos y no se diferenciaron de manera significativa los raleos suaves de los fuertes. Los diámetros de los árboles fueron mayores en los raleos fuertes. El manejo de las plantaciones de araucaria debería contemplar raleos más intensos para la obtención de madera gruesa. La frecuencia de los raleos no debería superar los 4-5 años. En turnos de 25 años o más las diferencias en el volumen total producido se minimizan entre las diferentes intensidades de raleo.

Palabras clave: *silvicultura, manejo forestal, pino paraná, volumen, productos*

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales comerciales son aquellas tendientes a producir la mayor cantidad de madera por unidad de superficie con la calidad más adecuada a su uso final, en el menor tiempo y de la forma más económica posible. La poda y el raleo son las prácticas silvícolas que condicionan en gran medida la cantidad y calidad de los productos a obtener y, por lo tanto, su rentabilidad.

Los raleos, cuando son realizados por lo bajo, pueden producir los siguientes beneficios: árboles y productos finales de mayor diámetro, utilización comercial de árboles dominados que probablemente morirían de seguir en pie, reducir los turnos de corta cuando se busca un determinado diámetro objetivo, uniformizar la forestación, eliminar árboles enfermos, regular el ritmo de crecimiento para mejorar la calidad de la madera, entre otros.

Un indicador de la ocupación del sitio fácil de determinar, y que también es adoptado para la toma de decisiones de manejo, es el área basal. Bajas intensidades de raleo, sean tal vez ideales para mantener el incremento volumétrico al máximo, pero por la frecuencia con que se deberían aplicar podrían no ser convenientes, tanto desde el punto de vista práctico como por su costo.

En el otro extremo, grandes remociones de volumen, producto de la aplicación de raleos intensos, tal vez sean una alternativa más económica, en términos de reducir el número de raleos, para alcanzar la densidad final deseada, pero como hay un límite en la respuesta de los árboles a esa apertura del dosel, si es esta muy fuerte, habrá una inevitable pérdida de volumen. Entre las situaciones extremas mencionadas, se deben evaluar y determinar los óptimos de intensidad y frecuencia de raleos a aplicar.

El objetivo de este trabajo fue determinar el crecimiento y producción de *Araucaria angustifolia* hasta los 34 años a partir de un ensayo de intensidades y oportunidades de raleo.

¹ INTA EEA Montecarlo, Misiones. keller.aldo@inta.gov.ar Tel 03751-480512

² ARAUCO ARGENTINA SA.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el efecto de diferentes modalidades de raleo, en el año 1992, sobre una plantación de *Araucaria* de 5 años de edad, en propiedad de la empresa PECOM S.A (actualmente ARAUCO S.A), en Puerto Iguazú, Misiones (localizado a los 25° 45' 11" latitud S y 54° 33' 25" longitud O), se instaló un ensayo de intensidades y oportunidades de raleo. El suelo pertenece a la unidad cartográfica 9, denominado comúnmente rojo profundo (Mancini, 1964).

El ensayo posee una superficie de 5 hectáreas y un diseño de 3 bloques completos al azar con 2 niveles de intensidad (33 % -raleo suave- y 66 % -raleo fuerte- de la diferencia entre el área basal de cada parcela y el del testigo en cada oportunidad de raleo – mencionados en adelante como t1 y t2, respectivamente) y testigos (sin raleo - en adelante t0), con 3 niveles de oportunidad (cada 2, 4 y 6 años, aplicados hasta los 19 años – referenciados en adelante como f1, f2 y f3, respectivamente). Según las diferentes combinaciones posibles de intensidad y oportunidad de raleos se obtuvieron las siguientes denominaciones: t0, t1f1, t1f2, t1f3, t2f1, t2f2 y t2f3. Los raleos fueron por lo bajo y semiselectivos, con el siguiente orden de extracción: árboles dominados, árboles intermedios, árboles codominantes defectuosos. La densidad de la plantación a los 5 años, antes de aplicar los tratamientos fue de 1608 árboles ha⁻¹ y su área basal 28,7 m² ha⁻¹. Trabajos presentados anteriormente por Crechi et al. (2001, 2009 y 2019) muestran ya varios resultados y tendencias sobre este ensayo. Las mediciones del ensayo se realizaron a partir de los 5 años y con una frecuencia de 2 años.

Para la determinación del volumen total con corteza de cada árbol se utilizó la tabla de volumen para *Araucaria angustifolia* publicada por Keller y Crechi (2014) y por sumatoria se obtuvo el volumen total por parcela en cada medición, que finalmente fue convertido a volumen total (V_{tcc}, m³ ha⁻¹).

El volumen total con corteza acumulado hasta los 34 años (V_{tccac} m³ ha⁻¹) por tratamiento, fue calculado como el volumen total con corteza (V_{tcc}) presente a los 34 años más lo extraído en cada raleo. El volumen del árbol promedio (v_i, m³) en cada tratamiento a los 34 años fue calculado como el cociente entre el volumen presente y el número de árboles vivos. Los análisis estadísticos (ANOVA, Test de Tukey, 95 %) fueron realizados con el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el número de árboles en pie a los 34 años. En el caso del testigo sin raleos (t0), la diferencia entre la cantidad de plantas iniciales y finales a los 34 años, se debe a mortalidad natural, pudiendo esta ser por competencia, enfermedades u otras causas naturales. La mortalidad en este caso fue del 75 %, valor cercano al determinado por Keller et al. (2008) para el tratamiento de 1600 pl/ha a los 35 años, en un ensayo de densidades iniciales de plantación y sin raleos, de la misma especie. En los demás tratamientos, las densidades son las resultantes de los raleos aplicados, siendo muy marcado el efecto de la intensidad de los mismos, no así para las frecuencias.

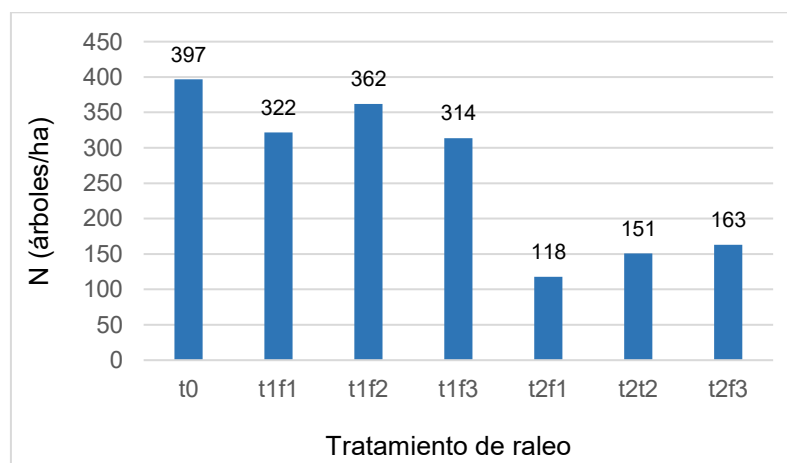


Figura 1. Densidad del rodal para diferentes tratamientos de raleo de *Araucaria angustifolia* a los 34 años de edad.



La Figura 2 muestra los diámetros promedio alcanzados en cada tratamiento a los 34 años. Las intensidades de los raleos aplicados han generado diferencias significativas entre los diámetros de los árboles, no así las oportunidades. En los raleos fuertes puede observarse una marcada tendencia hacia un menor diámetro promedio en la medida en que los raleos se hacen más espaciados en el tiempo, en tanto en los raleos suaves, los valores son más parecidos entre sí y no se manifiesta la misma tendencia que en el raleo fuerte.

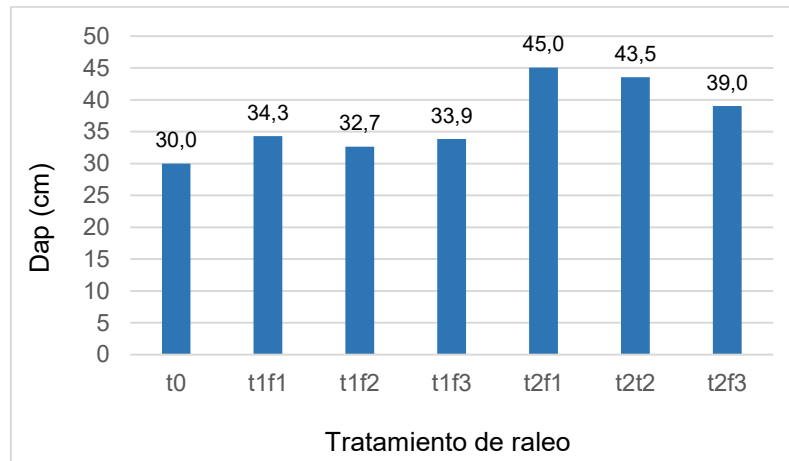


Figura 2. Diámetro promedio para diferentes tratamientos de raleo de *Araucaria angustifolia* a los 34 años de edad.

En la Figura 3 se muestran los volúmenes totales estimados al momento de la tala rasa (columnas verdes) y los acumulados a lo largo del ciclo de producción (columnas rojas), obtenidos por la suma del volumen al momento de la tala rasa más lo extraído en los raleos. Puede observarse que los raleos suaves son los que terminan acumulando más volumen a lo largo del ciclo. En cuanto a los tratamientos de raleo fuerte, puede observarse que hay un sacrificio en volumen total del orden del 12 % en esa búsqueda de árboles más gruesos con la finalidad de obtener productos de mayores dimensiones y mejores precios, tal como fue estimado también por Crechi et al. (2013) y Keller et al. (2019, 2020a), en ensayos similares con pino taeda, grevillea y pino híbrido, respectivamente. Los incrementos medios anuales en volumen calculados a los 34 años (IMA_{34}) variaron entre 9 – 12 y 14 $m^3 ha^{-1}año^{-1}$, para los tratamientos sin raleo y raleos suaves y fuertes, respectivamente.

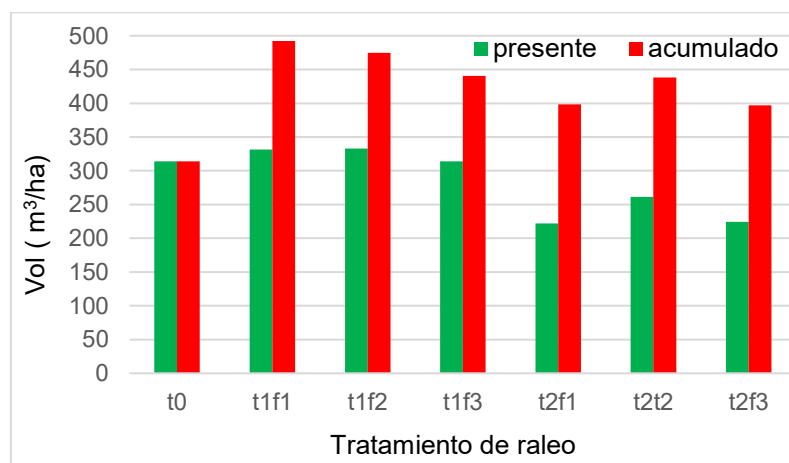


Figura 3. Volumen total presente y acumulado ($m^3 ha^{-1}$) de cada tratamiento de raleo de *Araucaria angustifolia* a los 34 años.

La Figura 4 muestra los volúmenes del árbol medio de cada tratamiento y puede apreciarse el efecto, principalmente, de la intensidad de los raleos aplicados, en tanto el efecto de las frecuencias de aplicación de estos raleos no es tan marcado. Las tendencias generales son similares a las comentadas para los diámetros promedios.

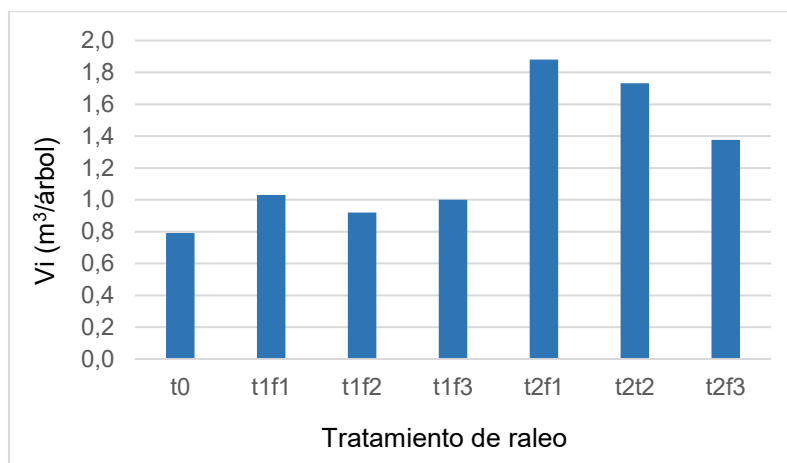


Figura 4. Volumen total del árbol promedio (m³) de cada tratamiento de raleo de *Araucaria angustifolia* a los 34 años.

La Figura 5 muestra el efecto del raleo cuando se buscan volúmenes de productos de mayores dimensiones; por ejemplo, en este caso, se muestra el volumen de productos mayores a 30 cm de diámetro en punta fina obtenido en cada tratamiento. Puede observarse que los tratamientos de raleos más fuertes son los que permiten obtener más volumen de este tipo de productos. Por lo tanto, si el objetivo es obtener un mayor volumen de productos gruesos, tal vez con fines aserrables para tablas o tirantes de grandes dimensiones o rollos laminables, debería orientar el manejo de las plantaciones hacia la ejecución de raleos más fuertes.

Esta Figura (Figura 5) indica que los tratamientos de raleo fuerte tienen una mayor potencialidad de producir trozas de mayores diámetros, por ejemplo, de 30 cm o más en punta fina con destino laminable. Al momento de la tala rasa, con los raleos fuertes se obtienen en promedio 90 m³ ha⁻¹ (43 % del volumen total), mientras que de los raleos suaves se obtienen unos 29 m³ ha⁻¹ (10 % del volumen total), en tanto que los raleos suaves o sin raleos, predominarían las trozas aserrables de dimensiones medias o finas.

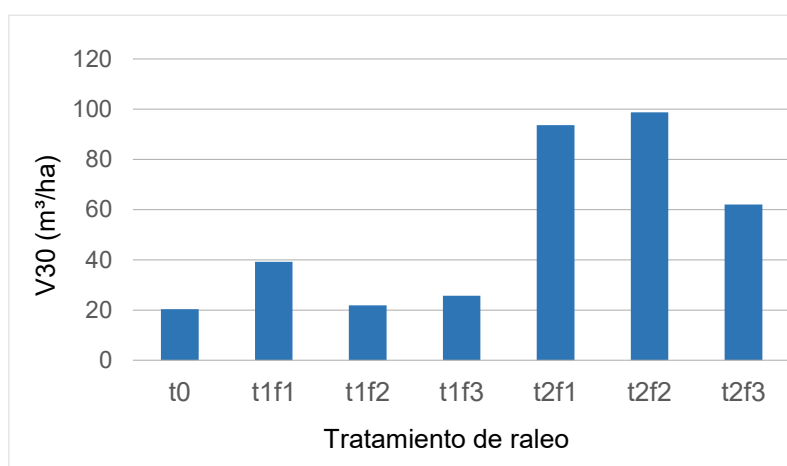


Figura 5. Volumen de diámetro mayor a 30 cm en punta fina (m³ ha⁻¹) de cada tratamiento de raleo de *Araucaria angustifolia* a los 34 años.

Según lo observado por Crechi et al. (2019), en el mismo ensayo, hasta los 21 años de edad, las diferencias entre volúmenes acumulados de raleos fuertes y suaves fueron estadísticamente significativas, mientras que, en este trabajo a los 34 años, ya no lo son. Después del último raleo, los diferentes tratamientos tienden a un valor asintótico de producción en volumen, tendencia también observada en ensayos similares con otras especies en esta región (pino híbrido, pino taeda y grevillea).

Esta tendencia a no presentar diferencias significativas a edades ya más avanzadas, también fue observada en un ensayo de raleo de *Grevillea* a los 20 años (Keller et al., 2019) y en uno de diferentes



densidades de plantación de *Araucaria*, entre 4444 y 625 plantas/ha. A partir de los 25-30 años, edades habituales de corta final de la especie en plantaciones de la región, se observó que un grupo de densidades comenzaron a presentar una tendencia a un valor asintótico común, en número de árboles, de área basal y de volumen, que luego fue generalizándose a todas ellas. A los 45 años ya no existen diferencias significativas entre todas las densidades (Keller et al., 2020b).

El menor volumen total debido a raleos más fuertes sería aceptable si el objetivo de la plantación es la producción de madera gruesa para destinos aserrables y laminables, ya que las diferencias de precio entre productos, sobre todo los laminables, suelen duplicar los precios de los productos aserrables finos y medios que predominan en los raleos suaves o en los esquemas sin raleos.

4. CONCLUSIONES

En general, las intensidades de raleo tienen un efecto significativo sobre la mayoría de las variables de estado del rodal, no así las oportunidades; los raleos suaves acumulan mayor volumen total, mientras que los raleos fuertes acumulan mayor proporción de volumen grueso y la tendencia es a triplicarlo.

Después del último raleo, los diferentes tratamientos tienden a un valor asintótico de producción en volumen similar en el tiempo.

El volumen del árbol medio tiende a duplicarse con los raleos más fuertes.

5. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- CRECHI, E.; FASSOLA, H.; FRIEDL, R., FERNÁNDEZ, R.; DALPRÁ, L. 2001. Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sobre el crecimiento y la producción en el Noroeste de Misiones, Argentina". 2º Simposio Latino-Americano sobre manejo forestal. UFSM. Pós graduación en Ingeniería Forestal. Santa María, RS, Brasil. P 153-172.
- CRECHI, E.; KELLER, A.; FASSOLA, H.; FAHLER, J.; MALETTI, R. 2013. Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en *Pinus taeda* L. sobre la producción de madera en el noreste de Misiones, Argentina. IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú. 2013.
- CRECHI, E. H.; KELLER, A. E.; MALETT, I R. 2019. Efectos de la intensidad y oportunidad del raleo sobre el crecimiento y la producción de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a los 21 años en el NO de Misiones, Argentina. XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo.
- CRECHI, E.; KELLER, A. 2019. Efectos del raleo sobre el crecimiento y la producción de madera de *Araucaria angustifolia* en el Noroeste de Misiones, Argentina. Libro: Avances en el conocimiento y tecnologías productivas de especies arbóreas nativas de Argentina. INTA. 2019. P 50-53.
- KELLER, A.; CRECHI, E.; FERNÁNDEZ, T. E. 2008. Efecto de la densidad de plantación sobre la producción en volumen de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. en Misiones, Argentina, a los 35 años de edad. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales - Facultad de Ciencias Forestales, UNAM - EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina. "2008 Año de las Ciencias"
- KELLER, A.; CRECHI, E. 2014. Ecuaciones de volumen y forma para *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze cultivada en la zona norte de la provincia de Misiones, Argentina. XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones, 15 al 17 de mayo de 2014.
- KELLER, A. E.; CRECHI, E. H.; KNEBEL, O. E.; AQUINO, D. O. 2019. Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo sobre la producción volumétrica de *Grevillea robusta* A. a los 20 años en el sur de Misiones, Argentina. XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. INTA-FCF. Eldorado, 17, 18 y 19 de octubre de 2019.
- KELLER, A.; CRECHI, E. 2020a. Efecto de la densidad de plantación sobre la producción de *Araucaria angustifolia* en Misiones, Argentina. Resultados hasta los 45 años de edad. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, octubre de 2020.
- KELLER, A.; CRECHI, E. 2020b. Efectos del raleo sobre el crecimiento y la producción de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* hasta los 23 años en el noroeste de Misiones, Argentina. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Octubre de 2020.
- MANCINI, L.; SANESI, G.; LASERRE, S. 1964. Informe Edafológico de la Provincia de Misiones. Misiones: I.N.T.A - Gobierno de la Provincia de Misiones. 102 p.



APORTE DE BIOMASA DE RAMAS EXTRAÍDAS EN ENSAYOS DE PODA SISTEMÁTICA DE ALGARROBO BLANCO

A. Lorena S. PERNOCHI¹, Marcos A. ATANASIO²

RESUMEN

En las prácticas de poda, tratamiento silvicultural ineludible para la producción de madera para usos industriales, se genera biomasa residual. En plantaciones de algarrobo blanco (*Prosopis alba*), se recomiendan podas a edades tempranas. En ellas se generan biomasa residual pero se desconoce la cantidad producida. En este trabajo se evaluó la biomasa originada en diferentes esquemas de poda, en un ensayo de plantación de algarrobo establecido en Sáenz Peña, Chaco. El ensayo posee un diseño de cuatro bloques dispuestos al azar, donde se aplicaron cuatro tratamientos: con y sin podas de formación a los 18 meses combinados con podas sistemáticas aplicadas al 2^{do} y al 3^{er} año. La biomasa extraída fue expresada en kgMS (kilogramos de materia seca) de ramas, la que se obtuvo por diferencia entre el peso fresco y peso seco de todas las ramas extraídas. Los resultados de los análisis estadísticos indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Al tercer año la biomasa contenida en las ramas podadas puede ser de 3 a 4 veces mayor (12,55 -14,55kg), que si la poda se realiza a los dos años (3,34 -4,01 kg). No se diferencia significativamente la biomasa residual cuando además de la poda sistemática se realiza una de formación.

Palabras claves: *Prosopis*, *plantaciones*, *manejo forestal*

1. INTRODUCCIÓN

Cuando el objetivo de una plantación forestal es madera de alto valor para la industria la poda es una actividad esencial. Esta práctica consiste en la eliminación de ramas y permite obtener materia prima de calidad. Para su uso en carpintería, la madera debe ser sana, libre de defectos y de medidas aptas para lograr la mayor cotización en la comercialización (Schoelzke, 2003; Cozzo, 1976).

El algarrobo blanco, *Prosopis alba*, es una especie nativa de importancia forestal del Parque Chaqueño. Es una especie promocionada para plantaciones forestales tanto en macizo como para enriquecimiento de bosque nativo. A partir de la promoción de las forestaciones y de las actividades silvícolas, ha aumentado considerablemente el número de predios con tratamientos de poda y raleo (Ministerio de Agroindustria, 2018).

En esta especie, la ramificación simpódica determina un modelo arquitectural que afecta la calidad maderera y representa uno de los mayores desafíos para el manejo silvícola de las plantaciones. En este sentido, se recomienda iniciar las podas en edades tempranas y posteriormente continuar con “podas leves”, sistemáticas y periódicas (Navall et al., 2015).

Con la aplicación de podas se genera biomasa residual. Esta biomasa es variable dependiendo de la densidad de plantación, del crecimiento, de la edad en que se realizan la podas, etc. En la práctica en general los residuos de poda son acumulados en las plantaciones, formando callejones o quemados.

La biomasa forestal producto de podas y raleos de árboles (trozos finos no aptos para aserradero), así como el residuo de los aserraderos y otras industrias forestales, se puede utilizar para generar energía térmica y eléctrica. También la biomasa generada en las actividades de manejo de una plantación puede aportar materia orgánica y nutrientes que contribuyen a la fertilidad del suelo (Diez et al., 2017)

¹ Estación Experimental INTA Saenz Peña, Chaco. pernochi.lorena@inta.gob.ar tel 3644453502

² Estación Experimental INTA Saenz Peña, Chaco. atanasio.marcos@inta.gob.ar tel 3704271146



Las plantaciones forestales de algarrobo generan biomasa residual en las actividades de poda, pero no se conoce la cantidad producida en los diferentes esquemas de poda. Estimar la biomasa producida permitiría promover gestiones de manejo de estos residuos. Además, contribuir a la estimación de las cantidades de carbono removido en las prácticas de poda. En el presente trabajo se pretende evaluar la biomasa producida en las ramas extraídas en diferentes esquemas de podas en un ensayo de plantación de algarrobo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La plantación se ubica en el campo de la Estación Experimental del INTA Sáenz Peña, Chaco, en el km 1100 sobre ruta nacional N° 95. Esta plantación fue instalada en febrero de 2015, con un distanciamiento de 3m x 3m. Los plantines de *P. alba* utilizados fueron producidos a partir de semillas de material origen Salta, proveniente de investigaciones desarrolladas por el INTA. En agosto de 2016, se instaló un ensayo con diferentes esquemas de podas. El ensayo posee un diseño de cuatro bloques dispuestos al azar (Figura 1). En cada uno de ellos se aplicaron cuatro tratamientos. Cada tratamiento a su vez contó con cuatro unidades de observación en línea (árboles medidos) respectivamente, que constituyen el núcleo de parcela, rodeados por una fila que forma la bordura con igual distanciamiento, es decir que la parcela experimental que recibe el tratamiento comprende 18 árboles.

Los tratamientos consistieron en:

Tratamiento 1 (T1): individuos con poda de formación a los 18 meses y 1^{er} poda sistemática a los 3 años.

Tratamiento 2 (T2): individuos con poda de formación a los 18 meses y 1^{er} poda sistemática a los 2 años.

Tratamiento 3 (T3): individuos sin poda de formación y 1^{er} poda sistemática a los 2 años.

Tratamiento 4 (T4): individuos sin poda de formación y 1^{er} poda sistemática a los 3 años.

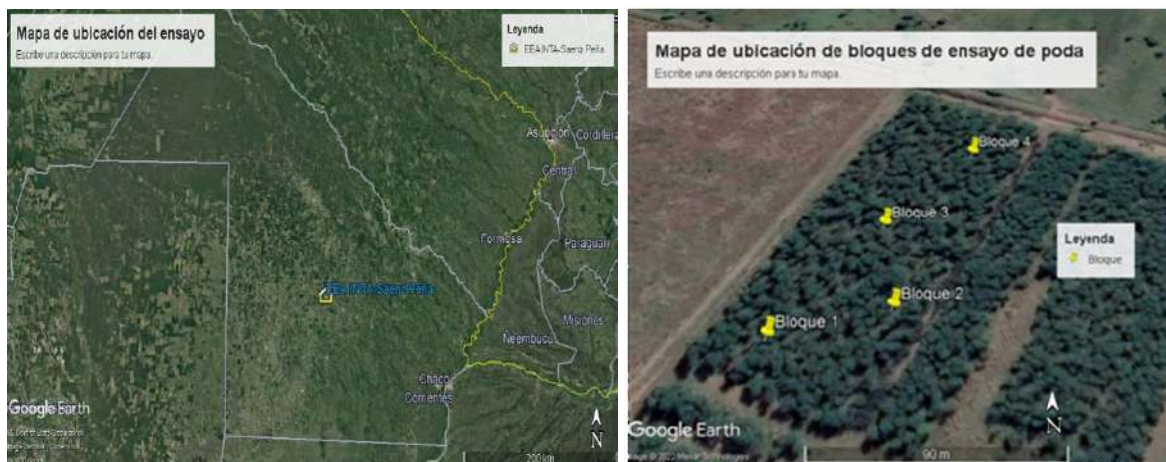


Figura 1. Ubicación del ensayo y distribución de bloques.

La poda de formación consistió en la eliminación de la rama competidora al eje principal y de las ramas que se encontraban al pie de la planta, que podrían competir a futuro con el tallo principal. Estos tratamientos se realizaron en agosto de 2016, con edad de plantación de 18 meses. La poda sistemática consistió en la eliminación de todas las ramas hasta un tercio de la altura total del árbol, aplicadas al 2^{do} año (2017) o al 3^{er} año (2018) según el tratamiento. Se evaluaron los efectos de los tratamientos sobre la biomasa extraída en cada operación de poda, expresada en kgMS (kilogramos de materia seca) de ramas por árbol, para lo cual se realizó inicialmente el pesaje de todas las ramas extraídas (peso fresco). El peso seco se determinó en laboratorio, en estufa a 65° con ventilación forzada, hasta conseguir peso constante, utilizando una muestra compuesta: integrada por: ramas gruesas (3 rodajas de 5 cm de espesor como máximo); trocitos de ramas de distintos diámetros en ramas finas; y 200 a 500 g de ramillas y hojas. A su vez se registraron otras variables para evaluar, en estudios posteriores, el desarrollo de los árboles en repuesta a los tratamientos de poda: diámetro a la altura del pecho (DAP)



y altura total (HT), número de ramas extraídas, diámetro de la base y largo de ramas, diámetro sobre el muñón remanente (DSM) y porcentaje de copa extraído (% CE).

El análisis de la varianza se realizó a través de modelos lineales generales y mixtos (Balzarini et al., 2015) y cuando se detectaron diferencias significativas se procedió a realizar la prueba LSD Fisher a un nivel de significancia del 5 %.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis estadísticos indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados para la variable peso seco o biomasa forestal (Cuadro1). Las diferencias se presentan entre las podas sistemáticas en diferentes edades. Esto implica que si se retrasa la poda hasta el tercer año la biomasa contenida en las ramas podadas puede ser de 3 a 4 veces mayor (12,55-14,55 kg) que si la poda se realiza a los dos años (3,34 - 4,01 kg) (Figura 2).

No se diferencia significativamente la biomasa contenida en las ramas podadas cuando además de la poda sistemática se realiza previamente una poda de formación a los 18 meses. Sin embargo, los tratamientos que tuvieron poda de formación produjeron una biomasa menor: T2 en el segundo año y T1 en el tercero. Cuando la poda se realiza al segundo año, la diferencia es mínima (0,67 kg de materia seca). Al retrasarse la poda al 3 año la diferencia es de 2,00 kg promedio en aquellos tratamientos que no tuvieron poda de formación a los 18 meses.

Cuadro1. Prueba de hipótesis

Prueba de hipótesis marginales			
	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	72,38	<0,0001
Bloque	3	5,96	0,0013
Tratamiento	3	8,11	0,0001

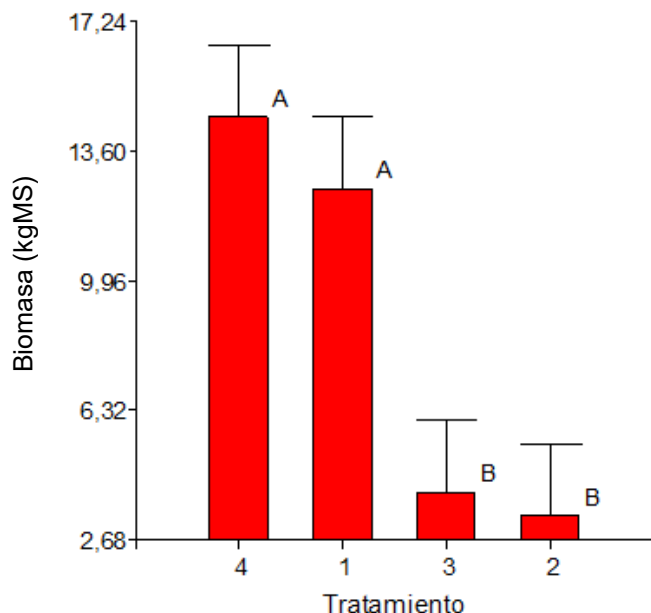


Figura 2. Prueba comparación de medias entre los diferentes tratamientos.

De acuerdo a los valores medidos en este trabajo, en una plantación de similares características con una densidad de 400 pl/ha, se calcula que en las operaciones de la primera poda se puede llegar a extraer de 1336 a 5820 kgMS/ha de acuerdo al momento de aplicación (a los 2 o 3 años, respectivamente). En concordancia con este análisis, Pernochi y Atanasio (2017) midieron la biomasa



sobre el suelo en árboles de 4 a 12 cm de DAP en raleo de plantación de algarrobo blanco, determinando que la biomasa de la copa representa un 60 % de la biomasa total del árbol, con 3,13 tMS/ha de biomasa de copa en 222 árboles/ha.

4. CONCLUSIONES

El momento de aplicación de la primera poda sistemática incide significativamente en la cantidad de biomasa que se extrae de ramas, siendo mayor cuando se aplica la poda a los 3 años de edad. Esto implica mayor trabajo en la operación de poda y mayor volumen de residuos generados.

La información generada en términos de biomasa de residuos leñosos originados con la poda podría contribuir a estimaciones de stock de carbono removido en el manejo silvícola de plantaciones de algarrobo, estimaciones de biomasa residual para potenciales usos como ser energéticos, forrajeros, sustrato o aportes como materia orgánica al suelo.

5. LITERATURA CITADA

- SCHOELZKE, D. 2003. La poda en una plantación de *Pinus elliotii*. Quebracho Revista de Ciencias Forestales, núm. 10, diciembre, 2003, pp. 26-38. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina.
- NAVALL, M.; EWENS M.; SENILLIANI, M.G.; LOPEZ, C. 2015. Efectos de la Poda en Plantaciones Jóvenes de *Prosopis alba* Griseb, en Santiago del Estero, Argentina. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales, vol. 23, núm. 1-2, diciembre, 2015, pp. 77- 91 Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA, 2018. Censo de Nacional de aserradero 2015. Informe del relevamiento censal en la provincia del Chaco- Región NOA.
- PERNOCHI, L.; ATANASIO, M. 2017. Resultados preliminares de biomasa en un ensayo de densidades plantación de *Prosopis alba*. Primeras Jornadas Nacionales Sobre Dendrocombustibles y Dendroenergía. Organizada por el Consejo Profesional de Ciencias Forestales del Chaco. 16 y 17 de agosto de 2017.
- DIEZ, J.P.; VARELA, S.A.; MEIER, A.M.; CABALLÉ, G. Y CLAPS, L. 2017. Aprovechando residuos forestales: una alternativa de manejo integral de plantaciones de Pino Ponderosa en la Cuenca de Arroyo del Medio. Presencia N°68. INTA, CR-Patagonia Norte EEA Bariloche.



AJUSTE DE FUNCIONES DE COPA Y DIÁMETRO PARA EL MANEJO DE RENOVALES DE *Prosopis alba* EN LA PROVINCIA DEL CHACO

Fabián GÓMEZ¹, Sebastian KEES², Lucas VERA³

RESUMEN

Se ajustaron funciones preliminares de predicción de diámetro de copa medio por clase diamétrica de fustes para bosques con renovales de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) para ser utilizadas en la provincia del Chaco. Se trabajó sobre datos de 640 ejemplares de la especie, provenientes de inventarios forestales en bosques con renovales, en cercanías de las localidades de Quitilipi y La Tigra en la provincia del Chaco. Las ecuaciones ajustadas predicen con más del 88 % de ajuste la variable respuesta.

Palabras clave: *diámetro de copa, bosques secundarios, morfometría, Parque Chaqueño*

1. INTRODUCCIÓN

La región Chaqueña constituye una de las extensiones cubiertas por vegetación leñosa más amplias del mundo (Morello et al., 2006). Según el Inventario Forestal de la provincia del Chaco (2006), de los 10 millones de hectáreas de extensión de la Provincia del Chaco, aproximadamente el 50 % (4,9 millones de ha) todavía están cubiertas con bosque nativo; 3,6 millones de hectáreas forman parte del Chaco semiárido y 1,3 millones del Chaco húmedo.

La disminución progresiva de la superficie boscosa para habilitar suelo destinado a otras actividades productivas y su posterior abandono, permitió la aparición de fragmentos de bosques secundarios cuya superficie no se conoce con exactitud porque no se discrimina como tal en los inventarios tanto nacional como provinciales, pero que representan una oportunidad para su conocimiento y por ende, proponer pautas para su mejor utilización. Estos procesos de colonización conducen a la recuperación de superficie de masas boscosas que, si bien están fragmentadas, estarán en condiciones de ofrecer al mercado productos madereros (Kees et al., 2017).

Prosopis alba, el algarrobo blanco, ha sido identificado como un recurso biológico estratégico del Parque chaqueño argentino para su desarrollo productivo y ambiental. Su característica de árbol multipropósito permite su uso tanto para la producción de madera de calidad en áreas inaccesibles para especies forestales introducidas, como así también en sistemas silvopastoriles, consociado con pasturas, aportando un importante recurso forrajero a través de sus frutos ricos en proteínas y azúcares. Esta característica le otorga un alto valor para la reforestación de áreas desmontadas abandonadas por la agricultura y la ganadería o en el manejo de bosques nativos secundarios, ofreciendo al mismo tiempo una alternativa productiva (Fernandez, 2013).

Un aspecto fundamental en el manejo de bosques secundarios de esta especie es la necesidad de concentrar el crecimiento en los árboles dominantes, dado que el logro de individuos de grandes dimensiones es fundamental para el abastecimiento de la industria del aserrado y del mueble que se encuentra históricamente establecida en Chaco (Kees et al., 2018).

A fin de mantener aceptables tasas de crecimiento, el silvicultor a través de cortas intermedias oportunas y adecuadas, regula la densidad y evita los efectos severos de la competencia forestal. El

¹ Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Ministerio de la Producción. Gobierno de la provincia del Chaco/ Universidad Nacional del Chaco Austral. ing.agr.fabiangomez@gmail.com

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

³ Dirección Nacional de Desarrollo Foresto industrial. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Argentina



nivel de ocupación del sitio para un tipo de bosque en particular depende fundamentalmente del número de árboles, de su distribución y categoría de tamaño y de su organización espacial. La densidad del rodal es utilizada como variable de decisión o control en intervenciones silviculturales (Cozzo 1976; Gonzáles Pérez, 1990; Prodan et al., 1997 citado por Pérez et al., 2016).

Según diversos autores (Cisneros et al., 2019; Michela et al., 2018; Kees et al., 2017) el algarrobo es muy importante desde muchos puntos de vista, en este contexto radica la necesidad de estudios morfométricos con rasgos de copa que permitan su adecuado manejo tanto en plantaciones como en rodales naturales. Las relaciones morfométricas permiten describir y caracterizar las dimensiones de los árboles, rodales sin el conocimiento previo de la edad, tienen utilidad en el manejo silvicultural, monitoreos forestales y productividad, especialmente cuando se tiene como premisa hacer un uso sustentable de los bosques (Cisneros et al., 2019).

El objetivo del presente trabajo fue modelar la relación entre el diámetro de copa y el diámetro normal para renovales de algarrobo (*P. alba*), para aportar herramientas útiles en la prescripción de raleos en bosques secundarios del Chaco húmedo en la provincia del Chaco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio del presente trabajo se ubica dentro de la región forestal Parque Chaqueño en Argentina (Figura 1). Esta se extiende por las provincias de Formosa, Chaco, este de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca y La Rioja, todo Santiago del Estero, norte de San Luis, Córdoba y Santa Fe, y noroeste de Corrientes.

El territorio fitogeográfico fue descrito por Cabrera (1976) como Provincia Chaqueña y pertenece al dominio Chaqueño de la Región Neotropical. La temperatura y las precipitaciones condicionan la vegetación que se va empobreciendo desde el este hacia el oeste. Los tipos de vegetación zonal dominantes son el bosque de xerófitas, sabana, y parque. Existen como comunidades edáficas los palmares y las estepas halófitas, y dentro de esta área la subregión donde se enmarca la zona estudiada es la Subregión del Chaco Húmedo que abarca los sectores del este de las provincias de Formosa y Chaco, el norte de Santa Fe, noroeste de Corrientes y parte sudeste de Santiago del Estero (MAyDS 2020). El clima es templado húmedo, con una temperatura media anual de 22 °C y temperaturas absolutas que pueden alcanzar máximas superiores a 40 °C y mínimas bajo cero. Las precipitaciones siguen un marcado gradiente longitudinal, con registros máximos en el este, superiores a 1300 mm (con valores de hasta 2200 mm), que decaen hacia el oeste a 750 mm (MAyDS, 2020).

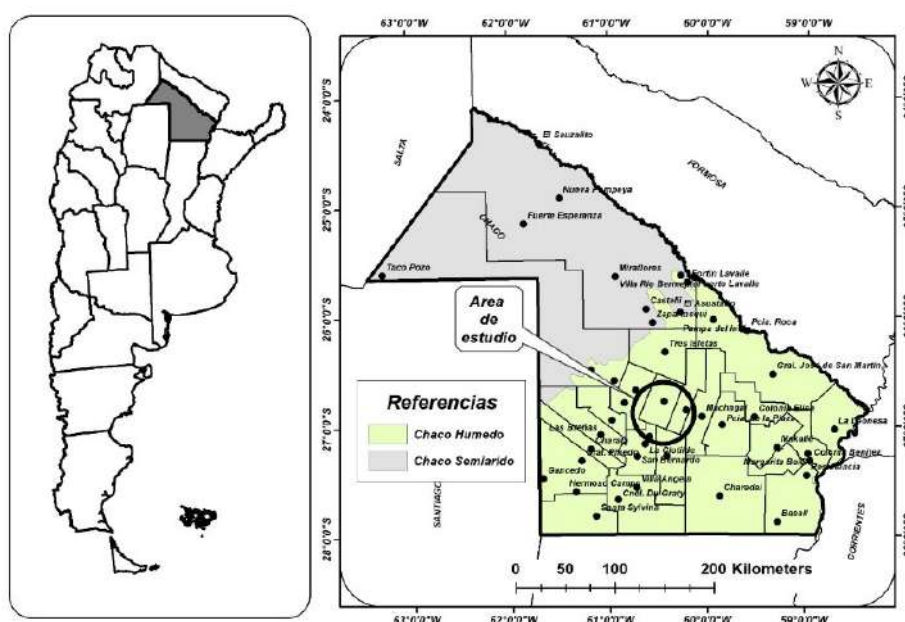


Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Se trabajó sobre datos de 640 ejemplares de la especie, provenientes de inventarios forestales en bosques con renovales en cercanías de las localidades de Quitilipi y La Tigra en la provincia del Chaco, abarcando todo el rango de dispersión diamétrica encontrada en los sitios. Las variables que se midieron fueron el diámetro a la altura del pecho (Dap) en centímetro y el radio desde el centro del fuste a la periferia de la copa, para cada ejemplar, en dos orientaciones (norte-sur y este-oeste) y se estimó el diámetro medio de copa en metros. A partir de estos datos se calculó el Dap medio y el diámetro medio de copa por clase diamétrica (amplitud de clases de 0,5 cm).

Utilizando el programa InfoStat 2020 (Di Rienzo et al., 2020) versión libre se ajustaron funciones de predicción del diámetro de copa medio por clase diamétrica para renovales de la especie.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los valores medios y de dispersión de las variables empleadas en el ajuste de funciones de diámetro de copa por clase diamétrica.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas para cada variable.

Variable	N	Media	Desvío standard	Suma	Mínimo	Mediana	Máximo
Diámetro de copa	653	5,13075	1,45909	3350,38	1,7	5	10,1
Dap	653	13,20842	4,34569	8625,1	8	12	34

Los modelos ajustados y las estadísticas de ajuste se presentan a continuación en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Modelos ajustados.

Modelo	R ² ajust (%)	EAB
1 $D_c = 2,5 + 0,2 \cdot D_{ap}$	88,3	0,360139
2 $D_c = 1 / (0,434101 - 0,0921536 \cdot \ln D_{ap})$	89,6	0,009201
3 $D_c = \exp(1,17169 + 0,0328943 \cdot D_{ap})$	89,3	0,055243

Donde: D_c= diámetro de copa en metros; D_{ap}=diámetro de fuste en centímetros; R² ajust= coeficiente de determinación ajustado; EAB= error absoluto medio.

Los estadísticos de ajuste de cada modelo son altamente satisfactorios para el conjunto de datos en general, además, todos los modelos explican más del 88 % de la variabilidad de la variable respuesta a partir de la variable regresora, el análisis visual de los residuos no refleja tendenciosidad evidente. Según esto el modelo número 2 es el que presenta menor error absoluto medio y mayor coeficiente R² (ajust) presenta, en comparación con los demás modelos.

Las funciones de diámetro de copa medio por clase diamétrica ajustadas para la especie y la dispersión de los datos se muestra en la Figura 2.

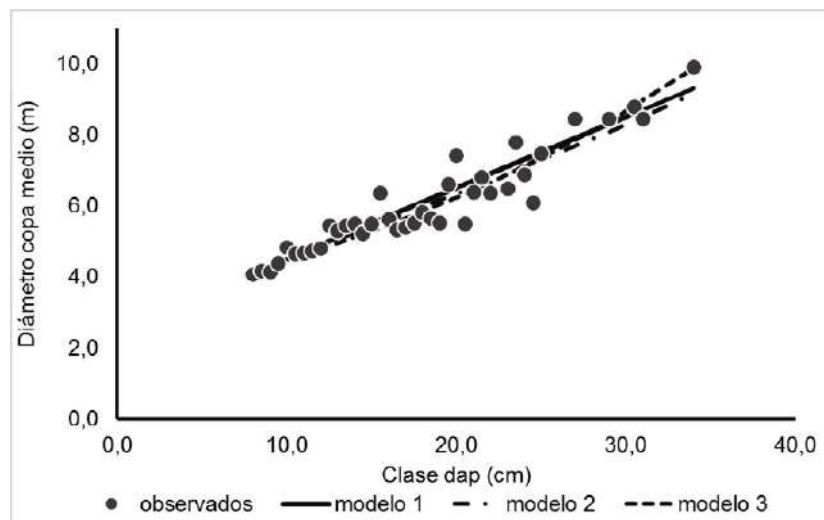


Figura 2. Dispersión de valores de diámetro medio de copa por clase diamétrica.



Se puede observar que los modelos presentan diferencias en la estimación de los valores sobre todo en las clases diamétricas mayores a 30 cm, mientras que en las clases bajas o intermedias el comportamiento es similar.

4. CONCLUSIONES

Los modelos ajustados son satisfactorios para el conjunto de datos en general para predecir el diámetro de copa medio por clase diamétrica para *P. alba*. Se aconseja el uso del modelo 2 dado que es el que mejores condiciones de ajuste ha mostrado en bosques bajo condiciones ambientales similares a las del área de estudio.

5. LITERATURA CITADA

- CISNEROS, A. B.; MOGLIA, J. G.; ÁLVAREZ, J. A. 2019. Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb. *Ciencia Forestal*, 29(2), 863–884. <https://doi.org/10.5902/1980509826846>
- 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, N. E. 2013. Recopilación bibliográfica el género *Prosopis* en Argentina Período 1993 – 2013. MAGyP. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-forestal-industrial/biblioteca_forestal/publicaciones/_archivos//000000_Recopilaci%C3%B3n%20bibliogr%C3%A1fica%20el%20g%C3%A9nero%20Prosopis%20en%20Argentina%20Per%C3%ADodo%201993%20%E2%80%93%202013.pdf
- GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CHACO. MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. 2006. Inventario Forestal 2005. 1ra ed. 148 pp.
- KEES, S. M.; GOYTIA, S. Y.; MICHELA, J. F. 2017. Cobertura de bosques secundarios en el departamento Mayor L. J. Fontana, provincia del Chaco. INTA. http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bosques_secundarios.pdf
- KEES, S. M.; FERRERE, P.; LUPI, A. M.; MICHELA, J. F.; SKOKO, J. J. 2018. Producción y crecimiento de las plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. en la provincia Chaco. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 44, núm. 2, pp. 113-120, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- MAYDS. 2020. Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Parque Chaqueño: primera revisión. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, Buenos Aires. Argentina.
- PÉREZ, V. R.; CAÑETE, M. C.; VICENTINI, G. M. 2016. Crecimiento de *Prosopis alba* griseb. en rodales con distintas densidades postraleo. XXX JORNADAS FORESTALES DE Entre Ríos, Concordia.
- MORELLO, J.; PENGUE, W.; RODRÍGUEZ, A. 2006. Etapas de uso de los recursos y desmantelamiento de la biota del Chaco. En: Brown, A., U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, 2006. 587 p. ISBN-10: 950-9427-14-4. Pp: 83-90.
- MORELLO, J.; PENGUE, W.; RODRÍGUEZ, A.. 1974. La vegetación de la República Argentina. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Segunda parte: vegetación y ambiente de la provincia del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Serie Fitogeográfica 13. Argentina.



ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE PLANTACIONES DE *Prosopis alba* EN SITIOS DE DISTINTA CALIDAD EN FORMOSA

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

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los parámetros morfométricos de *Prosopis alba* en plantaciones ubicadas en diferentes calidades de sitio a fin de describir el comportamiento y efectuar comparaciones en las mismas. Para tal efecto, se relevaron datos en parcelas de muestreo permanente en tres calidades de sitio dentro de la provincia de Formosa, donde se midieron el diámetro normal, radios de copa, altura total, altura de inserción de copa y largo de copa de todos los árboles que se encontraron dentro de las parcelas. A través de estas variables se calcularon: diámetro de copa (Dc), volumen de copa (Vc), grado de esbeltez (E), índice de amplitud (Ia), índice saliente (Is), porcentaje de copa (%C) y forma de copa (Fc). Los resultados permitieron demostrar que varios índices morfométricos de copa en *P. alba* son afectados por la calidad del sitio. Mediante el empleo de modelos de regresión simple se determinó que la relación entre el diámetro normal y el diámetro de copa puede describirse por funciones lineales.

Palabras clave: *parámetros morfométricos, algarrobo, calidad de sitio*

1. INTRODUCCIÓN

La morfometría de un árbol a través de las variables de copa brinda una buena idea de las relaciones interdimensionales, el espacio vertical ocupado por cada árbol, el grado de competencia, la estabilidad, vitalidad y productividad de cada individuo en el rodal (Durló y Denardi, 1998). Las relaciones morfométricas permiten describir y caracterizar las dimensiones de los árboles, rodales sin el conocimiento previo de la edad, y tienen utilidad en el manejo silvicultural, monitoreos forestales y productividad.

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, alto contenido en proteínas y azúcares de sus frutos, usados para alimento humano y forraje en poblaciones locales (Giménez et al., 2001).

Las investigaciones del algarrobo blanco implantado cobran mayor impulso desde la sanción de la Ley 25080 (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 necesario 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). El objetivo de la presente es aportar información sobre el comportamiento de los parámetros morfométricos de *P. alba* en diferentes calidades de sitio efectuando comparaciones entre sitios de buena, regular y mala calidad, con el fin de contribuir al manejo de esta especie.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos forestales proceden de parcelas de monitoreo permanente instaladas en forestaciones de la provincia de Formosa, ubicadas en diferentes calidades de sitio en las siguientes localidades: Formosa

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



(edad 14,5 años), Tres Lagunas (edad 13,8 años), Siete Palmas (edad 16 años), Palo Santo (edad 13,5 años), Buena Vista (edad 16,5 años) y El Quebracho (edad 14 años).

Con base en la clasificación de sitios formulada por Vicentini (2020), para plantaciones de algarrobo de 9 años de edad, se proponen las siguientes categorías de análisis: Clase de sitio 1 (CS1): calidad muy buena a excelente; Clase de sitio 2 (CS2): calidad regular a buena; Clase de sitio 3 (CS3): calidad mala.

Tratamiento de datos

Para determinar la morfometría, las variables evaluadas fueron el DAP (diámetro normal medio del rodal), N (densidad de plantación al momento de control), HT (altura total media del rodal), Rc (radio de copa); se midieron 4 radios de copa (Rc) por árbol, mediante el método de ángulos fijos (90°, 180°, 270° y 360°), con cinta métrica y brújula, los radios se tomaron desde el centro del árbol al borde exterior del mismo, medidos en proyección vertical. Por lo tanto, el diámetro de copa (Dc) se fijó en dos veces el promedio de los 4 radios medidos (Sanquetta et al., 2014). La longitud de copa (Hc), entendida como la altura desde la primera rama viva hasta el ápice se midió con vara telescópica graduada. El volumen de copa (Vc) fue estimado a partir de lo referido por Cisneros et al. (2019) en *Prosopis alba*.

En función a la información de campo, se determinaron los siguientes aspectos morfométricos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relaciones morfométricas utilizadas.

$\frac{\text{Altura total (m)}}{\text{DAP (cm)}}$	=	Esbeltez
$\frac{\text{Altura de copa (m)}}{\text{Altura total (m)}} \times 100$	=	Porcentaje de copa (%)
$\frac{\text{Diámetro de copa (m)}}{\text{Altura de copa (m)}}$	=	Forma de copa
$\frac{\text{Altura de copa (m)}}{\text{Diámetro de copa (m)}}$	=	Índice de copa
$\frac{\text{Diámetro de copa (m)}}{\text{DAP (cm)}}$	=	Índice saliente
$\frac{\text{DAP (cm)}}{\text{Radio de copa (m)}}$	=	Relación DAP/Rc
$\frac{\text{Diámetro de copa (m)}}{\text{Altura total (m)}}$	=	Índice de amplitud
$\frac{2}{3} \pi \cdot \bar{R}c^2 \cdot Hc$ (m ³)	=	Volumen de copa

En el caso del Índice Saliente (IS) y el Índice de Amplitud (IA) se realizaron comparaciones de medias de las respuestas logradas en forestaciones crecen en sitios de distinta calidad. También, se estudiaron las relaciones simples entre diámetro normal y diámetro de copa mediante análisis de regresión, donde el DAP fue tomado como variable independiente de las ecuaciones matemáticas, por ser un rasgo de fácil medición a campo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados sobre los parámetros morfométricos en las tres calidades de sitio se presentan en el Cuadro 2. El DAP, diámetro y volumen de copa reflejan una gran variación de la morfometría en las distintas calidades de sitio, observándose que los árboles de la CS1 son 28 % más gruesos que los de la clase intermedia (CS2) y hasta 43 % mayores que los de sitio deficiente. Asimismo, el mayor diámetro y volumen de copa se corresponde con los individuos de mejor calidad de sitio, registrándose copas con volumen hasta 75 % mayores que los individuos de CS3.

Esbeltez (E)

El valor promedio de Esbeltez más bajo corresponde a la Clase 1. Durlo y Denardi (1998) indican que entre más alto sea el valor de la esbeltez, menos estable es el árbol al daño mecánico; por lo que se observa una mayor estabilidad en los individuos de sitios de mejor calidad para resistir a fuerzas mecánicas.



Cuadro 2. Características morfométricas para *Prosopis alba*.

Variable	Clase de sitio	n	Media	D. E	CV	Min	Max	Q1	Q3
DAP (cm)	CS1	47	27,55	6,33	22,99	17,00	41,80	23,00	31,50
	CS2	47	20,13	4,97	24,69	10,10	28,30	15,80	24,70
	CS3	47	15,90	3,80	23,91	10,00	24,70	12,80	18,40
Ht (m)	CS1	47	10,22	1,27	12,46	7,36	13,05	9,45	11,00
	CS2	47	8,35	0,78	9,39	6,22	9,83	7,86	8,95
	CS3	47	6,28	1,20	19,06	3,97	8,84	5,37	7,11
Hc (m)	CS1	47	7,61	7,61	15,55	5,82	11,00	6,74	8,31
	CS2	47	5,72	5,72	17,73	2,69	7,89	5,15	6,36
	CS3	47	4,26	4,26	25,54	2,24	7,22	3,43	5,07
Dc (m)	CS1	47	8,24	8,24	23,55	4,43	14,50	6,76	9,27
	CS2	47	7,02	7,02	26,28	3,15	10,46	5,45	8,50
	CS3	47	5,40	5,40	23,51	3,37	8,53	4,50	6,52
Fc	CS1	47	1,09	0,21	18,93	0,59	1,84	0,99	1,21
	CS2	47	1,22	0,23	18,87	0,74	1,77	1,09	1,39
	CS3	47	1,30	0,24	18,80	0,93	2,13	1,10	1,45
%copa	CS1	47	74,49	7,27	9,76	58,00	85,20	68,80	80,20
	CS2	47	68,22	8,24	12,07	38,20	81,20	65,00	74,00
	CS3	47	67,35	7,82	11,61	51,80	81,70	62,10	73,80
E	CS1	47	0,38	0,06	16,13	0,26	0,53	0,34	0,42
	CS2	47	0,44	0,09	21,59	0,31	0,77	0,36	0,49
	CS3	47	0,41	0,08	19,94	0,28	0,66	0,34	0,44
Vc (m ³)	CS1	47	298,06	191,97	64,41	77,07	1090,96	149,56	368,28
	CS2	47	166,35	100,56	60,45	13,98	433,83	78,08	238,80
	CS3	47	74,07	49,85	67,31	13,32	201,64	35,93	106,69
DAP/Rc	CS1	47	6,76	0,97	14,41	5,12	9,39	5,99	7,18
	CS2	47	5,84	0,98	16,79	4,11	9,27	5,19	6,46
	CS3	47	5,94	0,85	14,27	4,27	8,05	5,22	6,67
IC	CS1	47	0,95	0,19	19,79	0,54	1,69	0,83	1,01
	CS2	47	0,85	0,17	19,60	0,57	1,36	0,72	0,92
	CS3	47	0,80	0,15	18,40	0,47	1,08	0,69	0,91
IS	CS1	47	30,1	4,17	13,84	21,3	39,1	27,8	33,1
	CS2	47	35,1	5,43	15,54	21,5	48,6	30,9	38,5
	CS3	47	34,3	4,84	14,05	24,8	46,8	30,0	38,2
IA	CS1	47	0,80	0,15	18,53	0,50	1,22	0,69	0,91
	CS2	47	0,83	0,17	20,93	0,45	1,22	0,69	0,97
	CS3	47	0,87	0,15	17,25	0,53	1,19	0,76	0,98

Dónde: n = número de observaciones; media = valor promedio; D.E. = desvío estándar; Min.= mínimo; Max.= máximo; CV = coeficiente de variación; Q1 = primer cuartil; Q3 = tercer cuartil; DAP = diámetro a la altura del pecho; Dc = diámetro de copa (m); Ht= altura total; Hc = longitud de copa; Fc = forma de copa; E = grado de esbeltez; Vc = volumen de copa; DAP/Rc= DAP/Radio de copa; IC = índice de copa; IS= Índice saliente; IA= índice de amplitud.

Porcentaje de copa (%)

Este criterio es a menudo utilizado como un indicador de la vitalidad de un árbol. El porcentaje de copa se observó en mayor proporción en la CS1 lo que muestra que árboles con mayores diámetros a la altura del pecho (DAP) y extensión de copa (Dc) tienden a presentar mayor proporción de copa.

Forma de copa

Durlo y Denardi (1998), establecen que cuanto menor es la forma de copa, mayor es la productividad del árbol y que la forma de copa sirve como criterio para prescribir aclareos en el manejo forestal. En



este estudio el mayor valor de forma de copa se evidenció en árboles de la CS3, en promedio 16 % más respecto del registro de la CS1, indicando una menor productividad en sitios deficientes.

Índice de copa (IC)

Este índice revela la relación entre el largo de la copa y el diámetro de la copa dando una buena idea de la dimensión de la copa de un árbol. El menor valor para este índice se observó en individuos que crecen en sitios de calidad deficiente (CS3), obteniéndose el mayor valor en mejores calidades de sitio. Según Arias (2005), una explicación de por qué en sitios malos el índice de copa es menor con respecto a sitios buenos, puede estar relacionado con la densidad del rodal, dado que en sitios restrictivos los árboles crecen más lentamente y aún no se ha ocupado plenamente el área de crecimiento.

Índice Saliente (IS)

Este índice expresa la relación entre el diámetro de copa y el DAP, mostrando la ocupación que necesita un árbol para desarrollarse sin competencia; este índice crece a medida que el árbol engrosa en diámetro (Arias, 2005). Se observa que en mejores sitios *P. alba* tiene un diámetro de copa 30 veces mayor que el DAP, y en sitios de clase II y clase III esta relación es sensiblemente mayor. El algarrobo blanco es una especie demandante de luz y en situaciones más restrictivas hay una disminución en su rendimiento lo que se traduce en la necesidad de un mayor espacio vital para producir individuos más gruesos. Por ejemplo, se estima que para producir individuos de 50 cm de DAP se tendría un diámetro de copa de 15 m, por lo que entrarían aproximadamente 57 árboles por hectárea, bajo el supuesto de copas redondeadas. En general, el promedio del índice saliente para este estudio, se aproxima a los valores observados por Cisneros (2019) para *P. alba* donde éste índice varía entre 24,3 y 29,4.

La relación entre el diámetro normal del árbol y el diámetro de la copa puede describirse por funciones lineales (Gráfico 1).

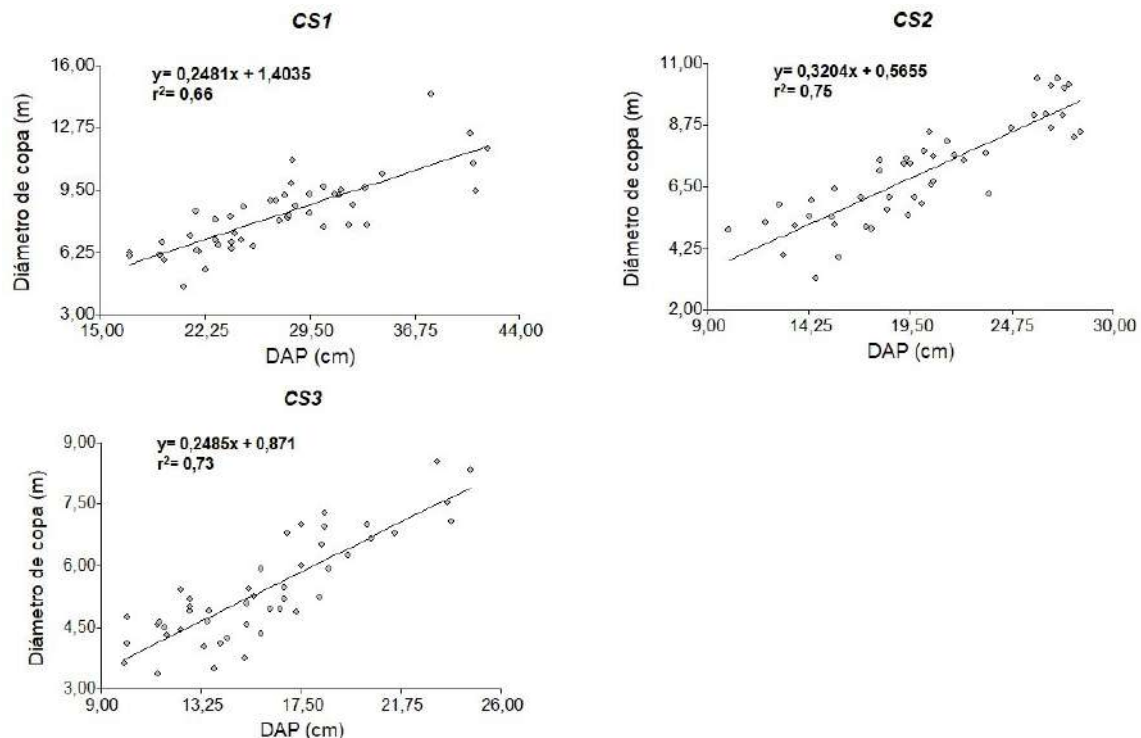


Gráfico 1. Relación entre diámetro de copa y el diámetro normal de *P. alba* para diferentes clases de sitio (CS1 CS2 y CS3).

El coeficiente de correlación de Pearson indica la existencia de una correlación positiva sin diferenciación estadística para las tres clases de sitio. La tendencia observada fue que a medida que crece el diámetro normal, también lo hace el diámetro de copa lo cual permitiría determinar el espacio ocupado por cada una de las especies en relación a su copa y diámetro.



Índice de DAP/Rc

El índice de DAP/Rc es una medida de la eficiencia en la acumulación de DAP por unidad de área de copa (Lockhart et al., 2005). En plantaciones de *P. alba* se determinó que, en sitios de buena calidad, por cada metro de incremento en el radio de copa, el DAP se incrementa en promedio 6,76 cm. En las plantaciones en menor calidad de sitio este índice no presenta una gran diferencia.

Índice de Amplitud (IA)

Los resultados para este índice no presentan diferencia estadística en las tres calidades de sitio, obteniéndose un valor de índice de amplitud (individual; por árbol) que varía entre 0,50 y 1,22 en sitios de mejor calidad (CS1). Martínez Vásquez (2018) informa que, bajo condiciones de competencia, árboles sobresalientes de *Cedrela odorata* presentan un índice de amplitud que varía en un rango de 0,39 y 0,44; estos individuos tienen copas estrechas debido a la autopoda. En el caso del algarrobo los valores mayores aludidos se corresponderían a la característica de su copa de extenderse lateralmente en mayor medida.

4. CONCLUSIONES

A través de este estudio se pudo demostrar de manera general, que algunos índices morfométricos de copa en *P. alba* son afectados por la calidad del sitio.

El efecto del sitio sobre la forma de copa, esbeltez y el índice de copa sugiere que estos parámetros pueden resultar útiles para describir rodales de algarrobo blanco y permiten interpretar condiciones de crecimiento y manejo. Se observa que conforme mejoran las condiciones de suelo y clima, esta especie presenta una mayor superficie de fotorecepción solar lo que se traduce en una alta capacidad fotosintética y mejor productividad.

En la aplicación de modelos de regresión simple se confirmó una correlación positiva entre el diámetro normal y el correspondiente valor de diámetro de copa para esta especie.

5. LITERATURA CITADA

- ARIAS-AGUILAR, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, v. 2 n. 5, p. 19–32.
- CISNEROS, A.B.; MOGLIA, J.C.; ÁLVAREZ, J.A. 2019. Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb. Ci. Fl., Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 863-884.
- DURLO, M.A.; DENARDI, L. 1998. Morfometría de *Cabralea canjerana*, em mata secundaria nativa do Rio Grande do Sul. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66.
- GIMÉNEZ, A.M.; RÍOS, N.; MOGLIA, J.G.; HERNÁNDEZ, P.; BRAVO, S. 2001. Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco. Forest. Venez. 45(2): 175-183.
- LOCKHART, B.R.; WEIH JUNIOR, R.C.; SMITH, K.M. 2005. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species. Journal of the Arkansas Academy of Science 59, n. 1, p. 110-115.
- MARTÍNEZ VÁSQUEZ, J. 2018. Variación fenotípica y selección de árboles de *Cedrela odorata* en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis. Saltillo, México. P. 39-41.
- PEREZ, 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
- SANQUETTA, C.R.; BEHLING, A.; CORTE, A.; FERNANDES, A.; BECKERT, S.; SIMON, A. 2014. Equações para estimativa do diâmetro de copa para Acácia-negra. Floresta e Ambiente 21 (2): 192-205.
- 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. 67 p.



COMPORTAMIENTO DE CLONES DE ÁLAMO EN DOS SUELOS DIFERENTES DE CALINGASTA, SAN JUAN

María Eugenia GARCÍA¹, María Julia NOSETTI², Juan A. BUSTAMANTE³

RESUMEN

La escasa producción de madera rolliza de calidad y disponibilidad de tierras en distintos Valles de la provincia de San Juan, conlleva a la búsqueda de nuevos clones, de rápido crecimiento y adaptación a distintos tipos de suelos. Por ello, la investigación sobre introducción de clones constituye un paso fundamental para evaluar cultivares que puedan ser utilizados en programas de forestación. En la presente investigación se evalúa el comportamiento de clones de álamo *Populus x canadensis*: 'Conti 12', 'NNDV', 'Enza', 'BL Constanzo', 'Zhongling 23' y 'Tripló', destinados a la industria tomando como referencia el clon 'Guardi', tradicionalmente cultivado en la provincia, bajo condiciones de suelo diferentes: suelo esquelético y suelo somero. Se determinó el índice de crecimiento (IC), supervivencia durante el primer año y estado fitosanitario del cultivo por posible ataque de plagas y enfermedades mediante observación directa. Como conclusión se observó que el índice de crecimiento del 'Guardi' fue menor a 'Zhongling 23', 'Enza' y 'BL Constanzo' en el suelo esquelético y menor que todo el resto de los clones en el suelo somero; todos con buena adaptación a ambos sitios, bajo porcentaje de fallas y excelente estado fitosanitario durante el período de duración del ensayo.

Palabras clave: *Populus x canadensis*, producción, adaptación, forestación

1. INTRODUCCIÓN

Las Salicáceas (álamos y sauces) constituyen el tercer grupo de especies forestales de importancia en el cultivo de plantaciones forestales de Argentina, luego de los pinos y los eucaliptos (Borodowski, 2017).

Se trata de especies elegidas a nivel mundial para producción forestal por su gran adaptabilidad a condiciones climáticas y edáficas, por la homogeneidad del cultivo, fácil plantación, manejo del mismo y velocidad de crecimiento.

Argentina no cuenta con especies nativas de Salicáceas (excepto *Salix humboldtiana* Willd., "sauce criollo"), por lo que las especies cultivadas en nuestro país son exóticas; específicamente en el caso de álamos se trata de clones *Populus deltoides*, *Populus nigra* y sus híbridos (Borodowski, 2017).

La provincia de San Juan se divide en Valles, formados por 19 departamentos. Dichos Valles son Calingasta, Iglesia, Jáchal, Valle Fértil, Zonda, Ullum y Tulum (SSDFI, 2017). Calingasta se ubica en el extremo suroeste, conformado por un paisaje cordillerano de sierras y ríos caudalosos, ocupando un 25 % del total de la superficie provincial, convirtiéndolo en la jurisdicción más extensa de la provincia y la más ampliamente forestada en comparación a otros Valles.

En la provincia, la madera de álamo se utiliza mayoritariamente en la elaboración de envases para embalaje destinados a la producción frutihortícola. Uno de los clones más difundido es *Populus x canadensis* 'Guardi' (SSDFI, 2017).

¹ Unidad Integrada UNSJ-INTA, Departamento Ingeniería Agronómica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. mauge2084@gmail.com / 264-56678654

² Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial-Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. mnosetti@magyp.gob.ar /264-4501599

² Unidad Integrada UNSJ-INTA, Departamento Ingeniería Agronómica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. jnosetti@gmail.com /264-4501599

³ Universidad Nacional de Cuyo .Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Producción Agropecuaria. jbustamante@fca.uncu.edu.ar



La escasa información de antecedentes de cultivos forestales en la provincia, genera la necesidad de conocer la adaptabilidad de otros clones de álamos a las condiciones agroclimáticas locales, así como también sus exigencias en cuanto a riego, suelo, respuesta a condiciones adversas, temperaturas, resistencia a plagas y enfermedades y poder brindar alternativas a productores e industriales forestales en la obtención de productos de mejor calidad.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de clones de álamo *Populus x canadensis*: 'Conti 12', 'NNDV', 'Enza', 'BL Constanzo', 'Zhongling 23' y 'Triplo' respecto al clon 'Guardi', en dos condiciones de suelo diferentes, además de evaluar la supervivencia durante el primer año de crecimiento y el estado fitosanitario del cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la propiedad de la firma INDUMET S.R.L (31° 26,377" S, 69° 25,380" W), localidad de Tamberías, departamento Calingasta, provincia de San Juan.

En la Figura 1 se muestra su disposición, representada por dos sitios de estudio.

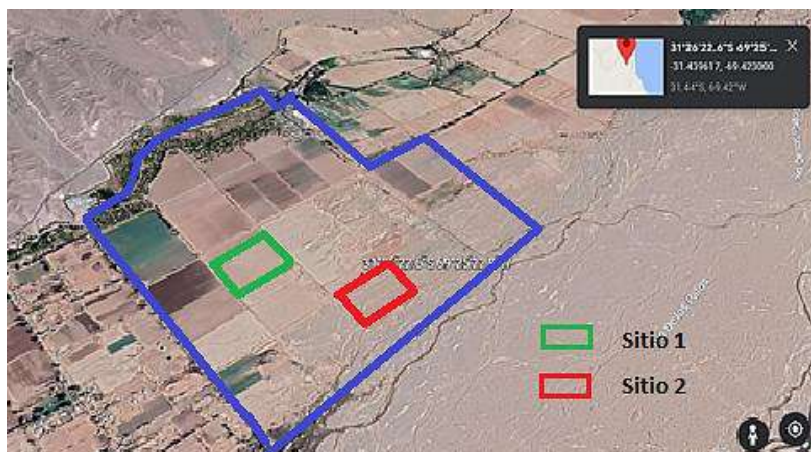


Figura 1. Imagen satelital identificando el área en estudio.

Ambos sitios se diferencian entre sí por el tipo de suelo, textura y profundidad según mapa de suelos confeccionado *in situ* a través de toma de muestras y calicatas. En base a los datos que contiene dicho mapa, se pudo realizar una breve descripción del suelo de cada sitio tal como se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tipos de suelo en cada sitio

Sitios	1	2		
Tipo de suelo	esquelético	somero	Referencias:	
	0-20 cm: aF	0-25 cm: AL	a:	Arenoso
Características texturales	20-40 cm: aF	25-50 cm: FAL	aF:	arenoso franco
	40-80 cm: a	50-200 cm: a	FAL:	franco arcillo limoso
Profundidad de suelo	20 cm	40 cm	AL:	arcillo limoso

Los clones bajo estudio, se plantaron en el mes de septiembre del año 2020 mediante el sistema de macizo. El tipo de material de plantación que se utilizó fueron estacas de álamo (168 estacas por sitio), de 40 cm de longitud y 2,5 cm de diámetro.

El marco de plantación fue de cuatro metros entre plantas y entre hileras (4 m x 4 m).

La superficie total del ensayo corresponde a 1,5 hectáreas. El riego se realizó por gravedad, mediante surcos con agua de río.



Se dispuso de seis bloques por sitio, los cuales se ubicaron teniendo en cuenta la dirección del riego, con un total de cuatro plantas por parcela (dos hileras de dos plantas) y seis repeticiones, considerándose todas como unidades muestrales y observacionales, haciendo un total de seis muestras de cada especie.

Como principales labores culturales se realizó la preparación del suelo, control de malezas y hormigueros previo a la plantación; se llevó a cabo un plan de fertilización y durante el receso invernal se procedió a realizar la poda de formación con el fin de obtener un fuste único y recto necesario para la industria de la madera, retirando rebrotes y ramas mal ubicadas.

Se cuantificó el crecimiento de los árboles a través de la medición de la altura total (H) en centímetros y el diámetro a la altura del cuello (DAC) en centímetros. Con estos datos se determinó el Índice de Crecimiento $IC = DAC^2 \times H$ (Salguero Ávila 2015).

Se contabilizó el número de individuos en pleno desarrollo, expresado en porcentaje de supervivencia. Se realizó la misma determinación para los individuos que no lograron desarrollarse, expresado en porcentaje de fallas, estableciendo las posibles causas de la misma.

Al mismo tiempo se evaluó el estado fitosanitario del cultivo a través de la observación de presencia de plagas y/o enfermedades, evaluando la menor o mayor susceptibilidad de los diferentes clones a las mismas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Figura 2 se presentan los valores medios obtenidos de IC por sitio y por clon.

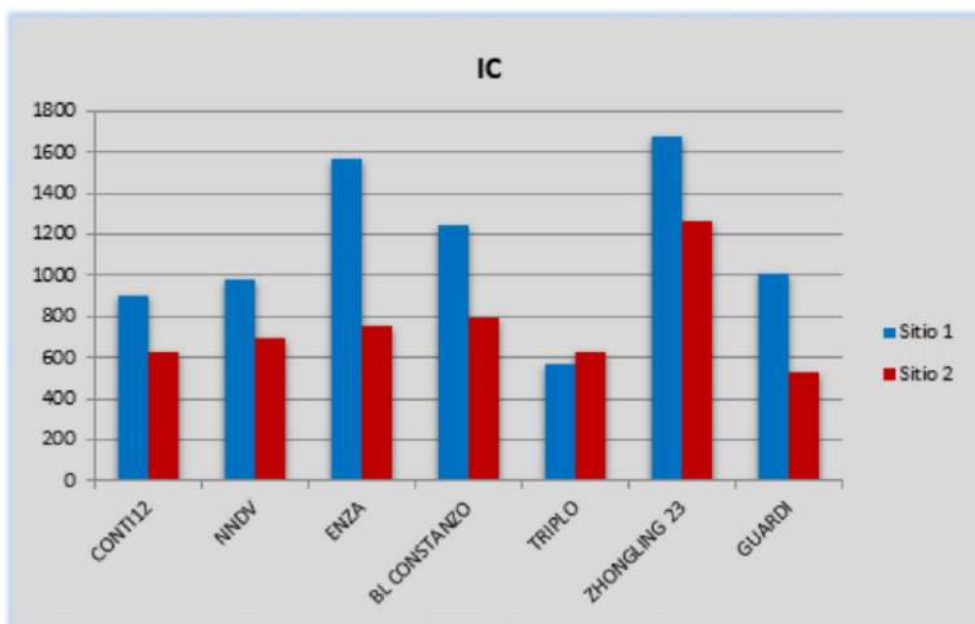


Figura 2. Índice de crecimiento (IC) de clones bajo estudio por sitios (Sitio 1: tipo Esquelético, Sitio 2: tipo Somero)

Entre sitios, el índice de crecimiento en cada uno de los clones en el sitio 1 (esquelético) es mayor que en el sitio 2 (somero), tal como se observa en Figura 2, salvo 'Triplo' en el cual el IC en el sitio 2 es levemente superior al sitio 1. Mientras que, en la comparación entre clones de *Populus x canadensis* en el sitio 1 se observó mayor crecimiento de los clones 'Zhongling 23', 'Enza' y 'BL Constanzo' respecto del clon testigo ('Guardi'). En cuanto al sitio 2, el clon 'Guardi' presentó el menor IC de todos los clones ensayados.

Respecto al **análisis de supervivencia**, con un total de tres plantas muertas en el sitio 1 y seis plantas muertas en el sitio 2 a lo largo del período de mediciones, se determinó el **porcentaje de fallas** discriminado por clon, según muestra el siguiente Cuadro:



Cuadro 2. Fallas (%), altura total (H) y diámetro (DAC) discriminadas por clon y por sitio

Clon	Sitio 1			Sitio 2		
	Fallas (%)	H (cm)	DAC (cm)	Fallas (%)	H (cm)	DAC (cm)
Conti12		161	2,3		149	1,9
BL Constanzo	4	149	2,8	-	134	2,3
Enza	4	187	2,7	4	140	2,2
Zhongling 23	4	167	2,6	-	173	2,5
NNDV	-	144	2,5	8	128	2,2
Triplo	-	111	2,2	4	122	2,1
Guardi	-	144	2,5	8	135	1,9
Total fallas/sitio	2			4		

Esto concuerda con lo reportado por Di Marco (2014) en relación a que el material de plantación utilizado tiene influencia sobre la resistencia a condiciones climáticas adversas en los primeros años de crecimiento, sobre la homogeneidad del cultivo, el porcentaje de fallas como así también sobre el número de podas necesarias y duración del turno de corta.

En cuanto al **estado fitosanitario**, en el otoño tanto en el sitio 1 como en el 2, en clones de `NNDV` y `BL Constanzo` se observaron "hojas moteadas pardas" (juveniles y adultas); mientras que en la primavera del mismo año, en el sitio 2 se observó la presencia de cinco chinches verdes en estado adulto, por lo tanto en ninguno de los casos se observaron daños significativos que tuvieran incidencia en el normal crecimiento de los clones en estudio.

4. CONCLUSIONES

El clon `Guardi` presentó menor índice de crecimiento que los clones de *Populus x canadensis* `Zhongling 23`, `Enza` y `BL Constanzo` en el sitio 1 y menor IC que el resto de los clones en el sitio 2.

En cuanto al análisis de supervivencia el porcentaje de fallas fue bajo en ambos sitios (2 % de fallas correspondientes al sitio 1 y 4 % de fallas correspondientes al sitio 2).

En relación al estado fitosanitario, no se observó ataque ni presencia de plagas y enfermedades, concluyendo que el mismo es óptimo en el primer año de crecimiento del cultivo.

Se determinó que los resultados obtenidos son promisorios para algunos de los clones bajo estudio, como: `Zhongling 23`, `Enza` y `BL Constanzo`, por su buen comportamiento y adaptación a diferentes tipos de suelo en Calingasta respecto del resto de los clones estudiados y el testigo. Esto alienta la instalación de nuevos ensayos clonales en diferentes sitios de la provincia a fin de evaluar otros parámetros que permitan seleccionar el material más adecuado para cada condición de sitio en particular, permitiendo darle continuidad a la presente investigación (recomendación para futuros trabajos) realizando el seguimiento de los sitios en cuestión con el objeto de obtener una base de datos amplia que permita determinar el comportamiento y adaptabilidad en un período mayor de tiempo.

5. LITERATURA CITADA

- BORODOWSKI E. (2017) "Situación actual del cultivo y uso de las Salicáceas en Argentina". Disertación V Congreso Internacional de Salicáceas.
- BUSTAMANTE, J.; PÉREZ, S. (2006) "Comportamiento de clones de álamos en Barreal, San Juan. Argentina." 3º Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Concepción Chile.
- DI MARCO, E. (2014) "Populus sp (Álamo, chopo) Familia Salicáceas" Ficha técnica. Área Técnica Promoción. Dirección de Producción Forestal - MAGyP.
- INFORMES DE CADENAS DE VALOR (2019) "Forestal, papel y muebles". Año 4 - N°14. ISSN 2525-0221.
- SALGUERO AVILA, D. M. (2015). Crecimiento, supervivencia e intercambio gaseoso de dos clones de *Paulownia elongata* x *fortunei* al primer año de desarrollo vegetativo en tres sitios del centro sur de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 1-91 pp.
- SSDFI. (2017). Inventario de Plantaciones Forestales. San Juan: Minister



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y DINÁMICO EN TABLAS DE ESCUADRÍAS COMERCIALES DE PINO HÍBRIDO

Rosa A. WINCK^{1,2*}, María C. AREA³, Diego R. AQUINO¹, Hugo E. FASSOLA¹, Aldo E. KELLER¹, Adelaida BRAGAÑOLO², María E. GAUCHAT¹

RESUMEN

En piezas aserradas de escuadrías comerciales de pino híbrido, *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F₁ INTA-PINDO, provenientes de dos ensayos de progenies de 11 años de edad, se determinó la densidad con el equipo Metriguard (DensMet), el módulo de elasticidad (MOE_e) y de rotura (MOR) a la flexión estática y el módulo de elasticidad dinámico (MOE_v) por vibración transversal. Se aserraron 90 rollizos de 3,15 m de largo obtenidos inmediatamente por encima del 1,3 m de altura, obteniéndose un total de 274 piezas. Estas fueron secadas en cámara, registrándose sus dimensiones y contenido de humedad al ser ensayadas. Se ajustó una función para predecir el MOE_e a partir del MOE_v para madera interna y externa. Se realizó un análisis de correlación entre variables, encontrándose relación significativa y positiva entre el MOE_e con el MOE_v, MOR y densidad. El método no destructivo por vibración transversal resultó eficiente para la determinación de la rigidez, y con mayor precisión para las piezas laterales o externas.

Palabras clave: rigidez, vibración transversal, *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, densidad, propiedades de la madera

1. INTRODUCCIÓN

Las coníferas más utilizadas para plantaciones forestales en las provincias de Misiones y Corrientes son *Pinus taeda* L. y *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. En menor escala se cultiva el F₂^{2*} de pino híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH) desarrollado en Australia (la F₂ lograda por cruzamientos libres de individuos F₁^{3*} del híbrido entre PEE x PCH, debido principalmente al crecimiento, rectitud de fuste, diámetro de ramas y estructura de copa (Belaber et al., 2022). Actualmente, la superficie implantada con este material alcanza aproximadamente 21 000 hectáreas (Belaber et al., 2018). Existen algunos estudios referidos al comportamiento estructural de la madera del pino híbrido australiano (Wu et al., 2009, Bailleres et al., 2019), y también se ha generado información local sobre las propiedades de la madera del F₁ INTA-PINDO (Winck et al., 2019; Rotundo et al., 2019; Winck et al., 2020; Winck et al., 2021; Winck et al., 2022). Una forma de predecir indirectamente la rigidez de la madera es recurriendo a las técnicas acústicas. Estas técnicas brindan una alternativa que permite superar los problemas de las pruebas estáticas, de carácter destructivo, que exigen tiempo y son más costosas (Ross y Pellerin, 2015). El objetivo de este trabajo fue determinar la densidad estacionada con el equipo Metriguard, el módulo de elasticidad dinámico por vibración transversal y el módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática de piezas aserradas en escuadrías comerciales de madera interna y externa de pino híbrido F₁ INTA-PINDO, además de corroborar la efectividad de estos métodos no destructivos para evaluar la madera de este taxón.

^{1*}F₂: material seminal obtenido de la polinización libre de híbridos F₁.

²F₁: material seminal obtenido de la polinización controlada de especies puras (PEE y PCH).

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 IMAM, UNaM, CONICET, FCEQYN, Programa de Celulosa y Papel (PROCYP), Posadas, Misiones, Argentina



2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado se obtuvo de dos ensayos de progenies de pino híbrido F₁ INTA-PINDO ubicados a los 26° 33' latitud S y 54° 40' longitud O (sitio 1) y a los 26° 09' latitud S y 54° 26' longitud O (sitio 2). A los 11 años de edad se aparearon 90 árboles, 45 de cada sitio, teniendo en cuenta la variabilidad en diámetros. De cada árbol se obtuvo un rollizo a partir de 1,30 m de altura desde el suelo hasta los 4,45 m de altura. Estos fueron aserrados obteniéndose tirantes de 3"x3" y 3"x5" (piezas internas) y tablas de 1" y 1 ½" de espesor (piezas externas) de ancho variable, alcanzando un total de 274 piezas. Las mismas fueron numeradas y secadas en cámara. Posteriormente, de cada pieza se determinó el contenido de humedad con un xilohigrómetro de agujas que funciona por el método de resistencia con una precisión de 0,2 %, se registraron sus dimensiones y se determinó el módulo de elasticidad dinámico mediante vibración transversal (MOE_v). Finalmente, las piezas fueron sometidas a ensayo destructivo con máquina universal para la obtención del módulo de elasticidad (MOE_e) y de rotura (MOR) a la flexión estática.

Medición del módulo dinámico por vibración transversal y densidad de la pieza

Con el equipo Metriguard® E-Computer – Modelo 340 se determinó la densidad y el MOE dinámico por vibración de las piezas aserradas. Este equipo cuenta con una balanza incorporada con la que se obtuvo el peso de cada pieza, además, cargando previamente sus dimensiones al software del ordenador del equipo, permite calcular su volumen y estimar su densidad. Además, con los valores de frecuencia natural de vibración determinados por el equipo, la longitud entre apoyos y una constante de calibración, entrega en pantalla los valores MOE_v, calculados a partir de una ecuación incorporada al sistema (Metriguard, 2002).

Medición del módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática con máquina universal de ensayos

El ensayo a la flexión estática se realizó con una máquina electromecánica universal de ensayos DIDACTA® modelo 10407030, de procedencia italiana, con capacidad de 300 kN y una sensibilidad de 300N. Con este equipo se determinó el MOE_e y el MOR, obtenidos con el software "MetroCom"-Dina 960 xp incorporado al equipo, siguiendo el procedimiento indicado en la norma IRAM 9663 (2013), documentándose también observaciones consideradas de importancia para la interpretación de los resultados (cantidad de anillos, tipo de corte, presencia de médula, resinas, nudos, entre otros).

Análisis estadísticos

Se calcularon los estadísticos descriptivos para las variables analizadas. Luego se ajustó una ecuación por regresión lineal múltiple recurriendo a las variables *Dummy* (Schneider y Tonini, 2003), ajustando un único modelo (ecuación 1), el que posteriormente, teniendo en cuenta la posición de la pieza, se reduce a la (ecuación 2) cuando el tipo de pieza corresponde a la posición interna (TP=interna, X=1), y a la (ecuación 3) cuando la pieza es externa (TP=externa, X=0).

Modelo general:
$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + \beta_3 D_{1i} + E \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para piezas internas:
$$E(Y_i/D_{1i} = 1, X_i) = (\beta_1 + \beta_3) + \beta_2 X_i \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para piezas externas:
$$E(Y_i/D_{1i} = 0, X_i) = \beta_1 + \beta_2 X_i \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde Y_i: variable dependiente; B₁, B₂ y B₃: coeficientes del modelo; X: variable regresora cuantitativa; D: variable auxiliar o *Dummy*; E: error. El número de variables auxiliares D_i a incluir es igual al número de niveles del factor de clasificación que se desea modelar menos 1. Cada variable auxiliar es una variable dicotómica que asume el valor 1 sólo para un nivel del factor de clasificación. La variable D adoptó el valor 1 para piezas internas y 0 para piezas externas.

Para evaluar el modelo de predicción del módulo de elasticidad estático, a través de la regresión lineal con variables *Dummy*, se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación ajustado (R² ajustado), el error estándar (MSE) y distribución de los residuos.



Para determinar la normalidad de la distribución de las variables se recurrió a herramientas gráficas. Para analizar la independencia de los residuos se utilizó el test de Durbin-Watson. La aptitud del modelo se verificó con la bondad del ajuste contra sus propios datos. Para ello se efectuó una regresión lineal entre valores de MOE observados versus MOE estimados, determinándose el error porcentual.

También se realizaron análisis de correlación múltiple entre variables. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Statgraphics® Centurion XV, versión, 2006 (www.statgraphics.com).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad medio de todos los cuerpos de prueba ensayados fue de 13,7 % con valores mínimos y máximos de 11,8 % y 15,5 %, respectivamente. Los valores medios de la densidad estacionada obtenida con Metriguard, MOEe, MOR y MOEv fueron corregidos al 12 % de humedad.

Los valores medios de DensMet, MOR, MOEv y MOEe fueron de 388 kg/m³, 382 kg/cm², 6,3 Gpa y 9,2 Gpa, respectivamente. Con un coeficiente de variación bajo (10 %) para la densidad y altos (26 %, 29 % y 36 %) para los valores de MOEv, MOEe y MOR. Fank (2018) obtuvo cifras de CV superiores para *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* (densidad: 13 % y 15 %, MOEe: 21 % y 40 %, MOR: 38 % y 50 %).

Los valores medios de MOEe para el pino híbrido F₁ INTA-PINDO determinados de forma destructiva superaron al valor mínimo (7 Gpa) exigido por las normas IRAM 9663 (2013) para formar parte de la clase 2 de resistencia, mientras que algunas piezas superaron el valor medio necesario (12 Gpa) para formar parte de la clase 1 de resistencia.

Comparación entre valores de módulos de elasticidad

El valor de MOEv mostró un comportamiento homogéneo para la madera lateral o externa, mientras que para las piezas centrales o internas mostró un patrón atípico. Se visualizó que, en piezas centrales con presencia de resina, identificada mediante la coloración de su leño, arrojó valores altos de MOEv, mientras que los valores de MOEe para esas mismas piezas fueron bajos.

En este estudio el MOEe fue mayor al MOEv. De manera similar, França et al. (2018b) para piezas de 2"x10" de pinos amarillos del sur determinó valores de MOEe ligeramente superior a los de vibración transversal determinado con el equipo Metriguard. Contrariamente, algunos autores informan que las técnicas acústicas, sobre todo las basadas en el tiempo de vuelo (TOF), sobreestiman la rigidez de la madera en comparación con los ensayos a la flexión (Posta et al., 2016; Ross y Pellerin, 2015; Videla et al., 2013). Por su parte, Hassan et al. (2013) reportaron valores de MOE dinámicos obtenidos por vibración transversal (MOEv), mayores que los valores estáticos. No obstante, diversos estudios realizados con piezas de dimensiones comerciales han demostrado un grado de asociación entre el MOEd obtenido por métodos acústicos y el MOEe, en general, con coeficientes de determinación (R²) entre 0,79 - 0,92 para pinos (Yang et al., 2017; F. França et al., 2018a, 2019, 2020; T. França et al., 2018b).

En las ecuaciones 4, 5 y 6 se representan los modelos de predicción del MOEe a partir del MOEv, el modelo general ajustado (Ecuación 4) y reducido según se trate de madera externa (Ecuación 5) o interna (Ecuación 6).

$$MOEe_{General} = 3,19 + 1,06 * MOEv - 0,84 * (TP = int) - 0,29 * MOEv * (TP = int) \text{ (Ecuación 4)}$$

El valor de R² ajustado, error estándar del estimador y estadístico Durbin-Watson fueron de 74 %, 1,3 y 2,1 (p=0,77), respectivamente. El valor-p para DW es > 0,05, lo que indica la independencia de los datos.

Este modelo general, según la posición de la pieza se reduce a:

$$MOEe_{Ext} = 3,19 + 1,06 * MOEv \text{ (Ecuación 5)}$$

$$MOEe_{Int} = 2,35 + 0,76 * MOEv \text{ (Ecuación 6)}$$

En el Gráfico 1 se muestra el ajuste obtenido para un modelo de regresión lineal que describe la relación entre MOEe y MOEv para piezas externas e internas.

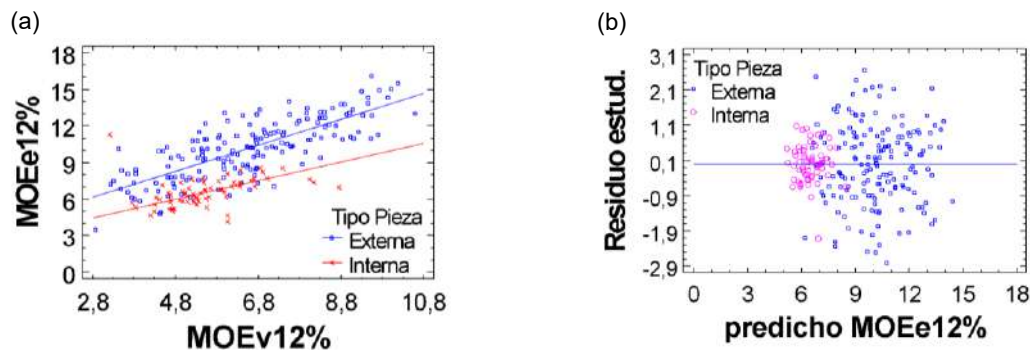


Gráfico 1: a) MOEe versus MOEv. b) Residuos estudentizados para el MOEe estimado por vibración.

El error % promedio del ajuste del modelo general fue de -15,81 %, mientras que cuando se consideran solamente las piezas externas (que alcanzan valores estructurales), se reduce a -5,77 %. En un estudio realizado para *Pinus taeda* de 20 años de edad el error de estimación del MOE estático estimado con el Metriguard arrojó un valor de -13,25 % (Videla et al., 2013).

Correlaciones entre módulo de elasticidad (estático y dinámico), módulo de rotura y densidad

El valor de correlación (r) entre MOEe y MOEv (Metriguard) fue de 0,79. Valores de r algo superiores al de este estudio fueron determinados para *Picea abies*, entre MOEe y MOE Metriguard (Posta et al., 2016) y para pinos amarillos del sur entre MOEe y MOEd (con distintos dispositivos) (F. França et al., 2019, 2020). También Fassola et al. (2014) encontraron una correlación de 0,79 entre MOEe y MOE Metriguard para *Pinus taeda* de 20 años de edad.

Por otra parte, para Máquina universal de ensayo los valores de r para el MOR y MOE (estático y dinámico) fueron de 0,68 y 0,54 para Metriguard. Estos resultados son similares a los encontrados en la literatura, donde se mencionan valores de r desde 0,64 a 0,82 entre MOR y MOE (estático y dinámicos) (Pazlar et al., 2011 y Faggiano, 2013), indicando que el MOEe es mejor indicador del MOR que el MOEd.

La densidad es otro indicador adecuado de la resistencia. El valor de r obtenido en este estudio entre el MOR y la densidad fue de 0,41, mientras que, en la literatura se mencionan valores superiores, entre 0,4 y 0,7 (Cruz y Machado 2013, Pazlar et al., 2011, Bucar y Bucar, 2011).

4. CONCLUSIONES

El método de vibración transversal resultó adecuado para predecir el módulo de elasticidad estático.

Las piezas internas con médula, infiltración de resinas o presencia de corazón corchoso (heartwood) afectaron al valor del módulo de elasticidad dinámico determinado por vibración. Sin embargo, el método demostró ser muy preciso para la estimación del módulo de elasticidad de la madera externa con características estructurales.

La madera aserrada de pino híbrido F₁ INTA-PINDO a los 11 años de edad, alcanzó y superó los valores mínimos de módulo de rotura y módulo de elasticidad a la flexión estática exigidos por las normas IRAM 9662-3, para formar parte de la clase 2 de resistencia en piezas de escuadrías comerciales.

5. LITERATURA CITADA

- BAILLERES, H.; LEE, D. J.; KUMAR, C.; PSALTIS, S.; HOPEWELL, G.; BRANCHERIAU, L. 2019. Improving returns from southern pine plantations through innovative resource characterisation.
- BELABER, E.; WINCK, R. A.; GAUCHAT, M. E.; ROTUNDO, C.; BULMAN, C.; FASSOLA, H. E. 2022. Productividad, calidad potencial de rollizos y características de la canopia en taxones de pinos en Misiones, Argentina. Artículo 293 en Revisión Revista Quebracho. FCF-UNSE. Pp 12.
- BELABER, E. C.; GAUCHAT, M. E.; REIS, H. D.; BORRALHO, N. M.; CAPP, E. P. 2018. Genetic parameters for growth, stem straightness, and branch quality for *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F₁ hybrid in Argentina. *Forest Science* 64(6):595-608.
- BUCAR, D. G.; BUCAR, B. 2011. Strength grading of structural timber using the single mode transverse damped vibration method. *Wood Research* 56(1): 67-76.



- CRUZ, H.; MACHADO, J. S. 2013. Effects of beetle attack on the bending and compression strength properties of pine wood. In *Advanced Materials Research* (Vol. 778, pp. 145-151). Trans Tech Publications Ltd.
- FAGGIANO, B.; GRIPPA, M. R.; CALDERONI, B. 2013. Non-destructive tests and bending tests on chestnut structural timber. *Advanced Materials Research* 778: 167-174.
- FANK, P. Y. 2018. Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliotii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural.
- FRANÇA, F. J. N.; FRANÇA, T. S. F. A.; SEALE, R. D.; SHMULSKY, R. 2020. Nondestructive evaluation of 2 by 8 and 2 by 10 southern pine dimensional lumber. *Forest Products Journal* 70(1):79-87.
- FRANÇA, F. J. N.; SEALE, R. D.; SHMULSKY, R.; FRANÇA, T. S. F. A. 2019. Assessing southern pine 2x4 and 2x6 lumber quality: longitudinal and transverse vibration. *Wood Fiber Sci* 51(1):1-14.
- FRANÇA, F. J.; SEALE, R. D.; ROSS, R. J.; SHMULSKY, R.; FRANÇA, T. S. A. 2018a. Using transverse vibration nondestructive testing techniques to estimate stiffness and strength of southern pine lumber. Res. Paper FPL-RP-695. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8 p., 695.
- FRANÇA, T. S. F. A.; FRANÇA, F. J. N.; SEALE, R. D.; SHMULSKY, R. 2018b. Bending strength and stiffness of No. 2 grade southern pine lumber. *Wood Fiber Sci.* 50(2):1–15.
- HASSAN, K. T.; HORÁČEK, P.; TIPPNER, J. 2013. Evaluation of stiffness and strength of Scots pine wood using resonance frequency and ultrasonic techniques. *BioResources* 8(2): 1634-1645.
- IRAM 9663. 2013. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- MODEL 340 E-Computer Operation Manual Maintenance Manual (2002). Metriguard Inc. SE, 1120. SE Latah Street.
- PAZLAR, T.; SRPČIČ, J.; PLOS, M.; TURK, G. 2011. Non-destructive tests for strength grading of Slovenian structural sawn timber. In *Proceedings of the 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium* (Vol. 1, pp. 231-238).
- POSTA, J.; PTACEK, P.; JARA, R.; TEREBESYOVA, M.; KUKLIK, P.; DOLEJS, J. 2016. Correlations and differences between methods for non-destructive evaluation of timber elements. *Wood Res* 61(1):129-140.
- ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. 2015. *Nondestructive evaluation of wood*, Second Ed. Madison, WI: U.S.
- ROTUNDO, C. A. 2021. Estimación de parámetros genéticos de la calidad de la madera en árboles de pino híbrido (*Pinus elliotii* var. *elliotii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) utilizando metodologías no destructivas, FCEQyN-FCF. Universidad Nacional de Misiones.
- ROTUNDO, C.; WINCK, R. A.; AQUINO, D. A.; GAUCHAT, M. E.; BELABER, E. 2019. Evaluación operativa de una metodología no destructiva para la determinación del módulo de elasticidad dinámico del Pino híbrido F1, XVIII Jornadas Técnicas For. y Ambient., pp. 89–91.
- SCHNEIDER, P. R.; TONINI, H. 2003. Utilização de variáveis dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* De Wild. *Ciência Florestal* 13: 121-129.
- STATGRAPHICS® Centurion, XV. Statpoint Technologies. Inc. Version, (2006) (www.statgraphics.com)
- VIDELA, G. D.; FASSOLA, H. E.; WINCK, R. A. 2013. Clasificación de tablas de *Pinus taeda* para uso estructural por método vibración transversal y su validación con ensayos destructivos en maquina universal. 4º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. 24 al 27 de septiembre del 2013. ISSN 1669-6786. Resumen.
- WINCK, R. A.; AREA, M. C.; BELABER, E. C.; AQUINO, D. R.; FASSOLA, H. E. 2022. Caracterización morfológica de las traqueidas de pino híbrido de rápido crecimiento. *Maderas. Cienc. y Tecnol. Maderas-Cienc Tecnol* 24(44):1-22.
- WINCK, R. A.; WINCK, L. R.; BELABER, E. C.; AQUINO, D. R.; FASSOLA, H. E.; ÁREA, M. C.; GAUCHAT, M. E. 2021. Parámetros indicadores de la calidad estructural de familias de pino híbrido F₁ INTA-PINDO. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos.
- WINCK, R. A.; GAUCHAT, M. E.; AREA, M. C.; BELABER, E. C.; FASSOLA, H. E. 2020. Caracterización de la madera de familias de pino híbrido F₁ INTA-PINDO (*Pinus elliotii* var. *elliotii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) mediante métodos no destructivos. *Caracterizar* 2020. Caracterización de Materiales. IQUIMEFA-UBA-CONICET, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA.
- WINCK, R. A. et al. 2019. Medición del tiempo de propagación de ondas para estimar rigidez de árboles en pie de Pino híbrido F1 INTA-PINDO. XVIII Jornadas Técnicas For. y Ambient., pp. 465–467.
- WU, H.; MCRAE, T.; SOUTHERTON, S.; GAPARE, W.; BALTUNIS, B.; LI, X.; DILLON, S.; IVKOVIC, M.; POWELL, M.; DIETERS, M.; HARDING, K.; MATHERSON, C.; ILIC. (2009). Quantitative and molecular genetics of juvenile wood traits in radiata and slash/Caribbean pines.
- YANG, B. Z.; SEALE, R. D.; SHMULSKY, R.; DAHLEN, J.; WANG, X. 2017. Comparison of nondestructive testing methods for evaluating No. 2 southern pine lumber: Part B, modulus of rupture. *Wood and Fiber Science*, 49(2), 134-145.



VARIACIÓN DE LA POROSIDAD EN SENTIDO RADIAL A TRES ALTURAS DE CINCO CLONES DE *Eucalyptus*

Christian BULMAN HARTKOPF¹ *, Rosa A. WINCK², Hugo E. FASSOLA², Elsa I. FIGUEREDO², Pablo M. STEFANI³

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue describir la variación de la porosidad en el perfil radial a tres alturas de cinco clones de *Eucalyptus* (dos puros y tres híbridos) de 11 años, provenientes de un ensayo situado en Leandro N. Alem, provincia de Misiones, a partir de dos características anatómicas: el diámetro tangencial de poro (Dt_g) y la frecuencia de poros por unidad de superficie (F) por medio de regresión cuadrática, y a su vez establecer la correlación entre estas variables con la densidad básica (D_b) por medio de la prueba de Pearson. Los parámetros fueron medidos por microscopía óptica, sobre láminas obtenidas por corte con micrótopo rotativo de probetas de 1 cm². Se observó que los valores de Dt_g poseen una tasa de variación mayor que F, tanto en la dirección radial como axial. La correlación de Pearson entregó valores de -0,33, 0,15, 0,28, 0,57 y 0,42 entre Dt_g y D_b y 0,22, -0,33, -0,51, -0,59 y -0,54 entre F y D_b para los clones EG INTA 157, EG INTA 36, GC INTA 24, GC INTA 27 y GT INTA 31 respectivamente, presentándose un comportamiento inverso en el clon EG INTA 157.

Palabras clave: *anatomía, variación radial, variación axial*

1. INTRODUCCIÓN

La madera juvenil corresponde a la región central del fuste, que se extiende desde la base hasta la copa, formando un cilindro de manera más o menos uniforme, esto ocurre durante los primeros años del crecimiento secundario, originado por el cambium, y se caracteriza por ser una etapa de rápido crecimiento en el que se forma madera de baja densidad (Zobel y Buijtenen, 1989). Conforme el árbol acumula anillos de crecimiento, debido al cambium, en el que se generan células cada vez más maduras, se produce una transición gradual entre la madera juvenil y madera madura, esta última comprende la región periférica del fuste en el que las células producidas año a año tienen poca variabilidad, formando así madera más estable y de mayor densidad. A su vez, la diferencia entre estas dos regiones es más amplia en coníferas que en latifoliadas (Zobel y Buijtenen, 1989). Si bien este cambio gradual está determinado por la edad del cambium, su extensión también dependerá de la característica anatómica que se esté analizando (Cobas et al., 2013).

Según Tsuchiya y Furukawa (2009), el diámetro de los vasos es una de las características anatómicas más importantes para determinar la edad de transición entre madera juvenil y madura en latifoliadas, debido a que presenta un patrón de variación radial creciente desde la médula antes de estabilizarse hacia la corteza (Bhat et al., 2001), indicando la presencia de madera madura. Asimismo, la cantidad de vasos por unidad de superficie, es decir su frecuencia, tiene un comportamiento similar, pero en forma decreciente (Cobas et al., 2013). Por otro lado, estas variables determinan la capacidad de conductividad hídrica (Barotto et al., 2017), por lo que están íntimamente relacionadas con la densidad, que puede considerarse como una medida de la estructura interna de la madera (Naidoo et al., 2006). Siendo, la densidad una variable integradora de la fracción de poros y morfología de fibras, es por esto que existen especies y genotipos de densidad similar, pero con distinta anatomía celular (Monteoliva et al., 2017).

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.



Dada la relación entre estos dos parámetros anatómicos con otras características del leño, son considerados buenos indicadores de la calidad de la madera de latifoliadas a nivel anatómico. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo es describir el comportamiento radial del diámetro tangencial de los poros (Dt_g) y su frecuencia por unidad de superficie (F), para 3 alturas en el fuste de 5 clones de eucaliptos y establecer su relación con la densidad básica (D_b) de la madera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras para el estudio se obtuvieron de un ensayo clonal de *Eucalyptus* establecido en la localidad de Leandro N. Alem en el año 2009 por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia de INTA. Se analizaron 5 clones: dos puros de *E. grandis* EG INTA 157 y EG INTA 36, dos híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 24 y GC INTA 27 y un híbrido de *E. grandis* x *E. tereticornis* GT INTA 31.

Para cada clon se utilizaron 3 árboles de 11 años de edad. La información sobre las características de clima, suelo y diseño fueron previamente informados en Bulman et al. (2021).

En este trabajo, se estudió para cada clon, la variación de la porosidad en sentido radial, en términos del diámetro tangencial de poros (Dt_g) y su frecuencia por unidad de superficie (F) contando la cantidad de poros por mm⁻², de acuerdo con las especificaciones de la norma IAWA Comité (1989). Para ello, se cortaron probetas de aproximadamente 1 cm² de área transversal desde la médula hacia la corteza a tres alturas desde el suelo (H=0,10; 2,65 y 5,50 m), posteriormente se realizaron cortes transversales de 30 μm de espesor con un micrótopo rotativo y observados con un microscopio óptico Eclipse LV100DA-U marca Nikon.

Los datos obtenidos de ambas variables fueron analizados, en primer lugar, mediante el análisis de la varianza (ANOVA) con el fin de comparar sus medias generales por la prueba DGC (p < 0,05). En el caso de la variable F fue necesario realizar una conversión logarítmica, para que los residuos se distribuyan de forma normal en ambos casos. En segundo lugar, se ajustaron las variables Dt_g y F con la ecuación (1) por regresión cuadrática para observar la variación radial entre alturas.

$$y = \beta_0 + \beta_1.DN + \beta_2.DN^2 \quad (1)$$

Donde, y es la variable de análisis Dt_g [μm] o F [poros.mm⁻²] a cada altura muestreada, β₀ es la ordenada al origen, β₁ y β₂ los coeficientes de regresión, DN (valores entre 0 y1) es la distancia normalizada obtenida a partir del cociente entre la distancia radial y el radio total de la rodaja de cada altura de cada árbol. Se analizó además por medio del coeficiente de correlación de Pearson la correlación (r) existente entre estas variables y los valores de densidad básica (D_b) previamente informadas por Bulman et al. (2021a) para las mismas muestras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el Cuadro 1 se comparan los valores promedios del conjunto de datos entre clones, encontrando que existe mayor diferencia significativa para la variable F que para Dt_g entre los distintos materiales genéticos, siendo solo el GC INTA 27 diferente a otro clon para ambas variables.

Cuadro 1. Promedios de diámetro tangencial de poro Dt_g y frecuencia de poros (F) entre clones (desvío estándar) y comparación de medias DGC.

Clon	Diámetro Medio (μm)	Frecuencia (poros.mm ⁻²)
EG INTA 157	93,5 (19,8) a	12,9 (4,3) c
EG INTA 36	89,1 (20,1) a	11,5 (3,8) b
GC INTA 24	90,6 (22,7) a	14,0 (5,4) c
GC INTA 27	96,6 (22,6) b	10,3 (3,6) a
GT INTA 31	91,9 (17,8) a	11,8 (2,8) b

Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa (valor-p≤0,05).

La mayoría de los antecedentes que existen sobre estudios anatómicos relacionados a la porosidad, para este género, no siempre abordan la variación radial o axial de forma detallada, y generalmente analizando árboles jóvenes, reportando valores promedio, a pesar de que se espera una mayor variación con el radio a edades tempranas. Belini et al. (2008) determinaron a partir de muestras aleatorias de *chips* para pulpa



tomadas del volumen total de los primeros 6 m del fuste para *E. grandis* de 7 años, valores de Dtg promedio de 105 μm y frecuencias de 12 poros. mm^{-2} . En cambio, Ramos et al. (2011) informaron valores de Dtg de 122, 135 y 133 μm entre zona interna, media y externa del radio, respectivamente en *E. grandis* de 23 años a la altura de pecho. Sánchez Acosta (2012) encontró para un híbrido (INTA) de 9 años de *E. grandis* x *E. tereticornis*, valores medios de 123 μm y 14 poros. mm^{-2} de Dtg y F, respectivamente, de los últimos anillos de crecimiento, promediando diferentes alturas.

Monterubbianesi (2020) analizó los clones EG INTA 36, GC INTA 24 y GC INTA 27 entre otros, de 2 años de edad, a la altura de pecho, provenientes de un ensayo clonal en Concordia, Entre Ríos, encontrando menor Dtg y mayor F en GC INTA 24 y mayor Dtg y menor F en GC INTA 27, es importante resaltar que, a pesar de la diferencia de edad, las tendencias generales se mantienen.

Los resultados de la variación radial y el ajuste según la ecuación 1 para cada altura, se muestran en las Figuras 1 y 2. Se observa que en todos los casos Dtg crece (Figura 1) mientras que F disminuye (Figura 2) desde la médula hacia la corteza; Cobas et al. (2013) encontró la misma tendencia en *Populus deltoides*. Esta relación inversa entre Dtg y F está asociada a la capacidad de las plantas para ajustar el suministro de agua en función de la demanda de la superficie foliar (Zanne et al., 2010).

Para todo el rango de DN se observó que los valores de Dtg aumentan con la altura, mientras que los valores de F se solapan entre alturas, excepto para para la altura 0,1 m del clon EG INTA 157 donde F alcanzó un valor más alto. Un patrón similar para el Dtg fue determinado por Shashikala y Vigendra Roa (2009) para *Corimbia citriodora*, quienes hallaron que los valores de Dtg aumentan en ambas direcciones.

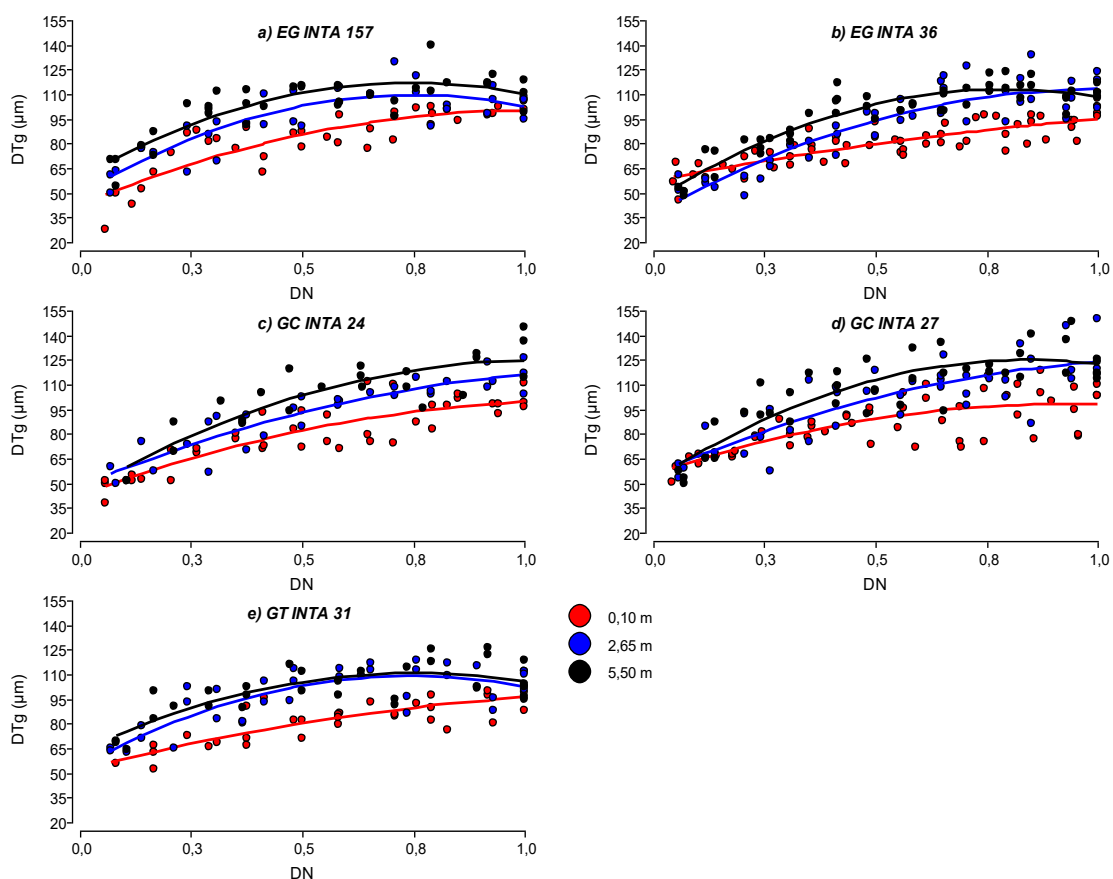


Figura 1. Diámetro tangencial de vasos para cada clon estudiado a tres alturas de fuste y curva de ajuste, siendo DN la distancia radial normalizada entre 0 y 1.

A su vez, la disminución de la pendiente indica la estabilización de las variables lo cual podría estar asociado al proceso de transición de madera juvenil a madura (Duong et al., 2021; Cobas y Monteoliva 2018).

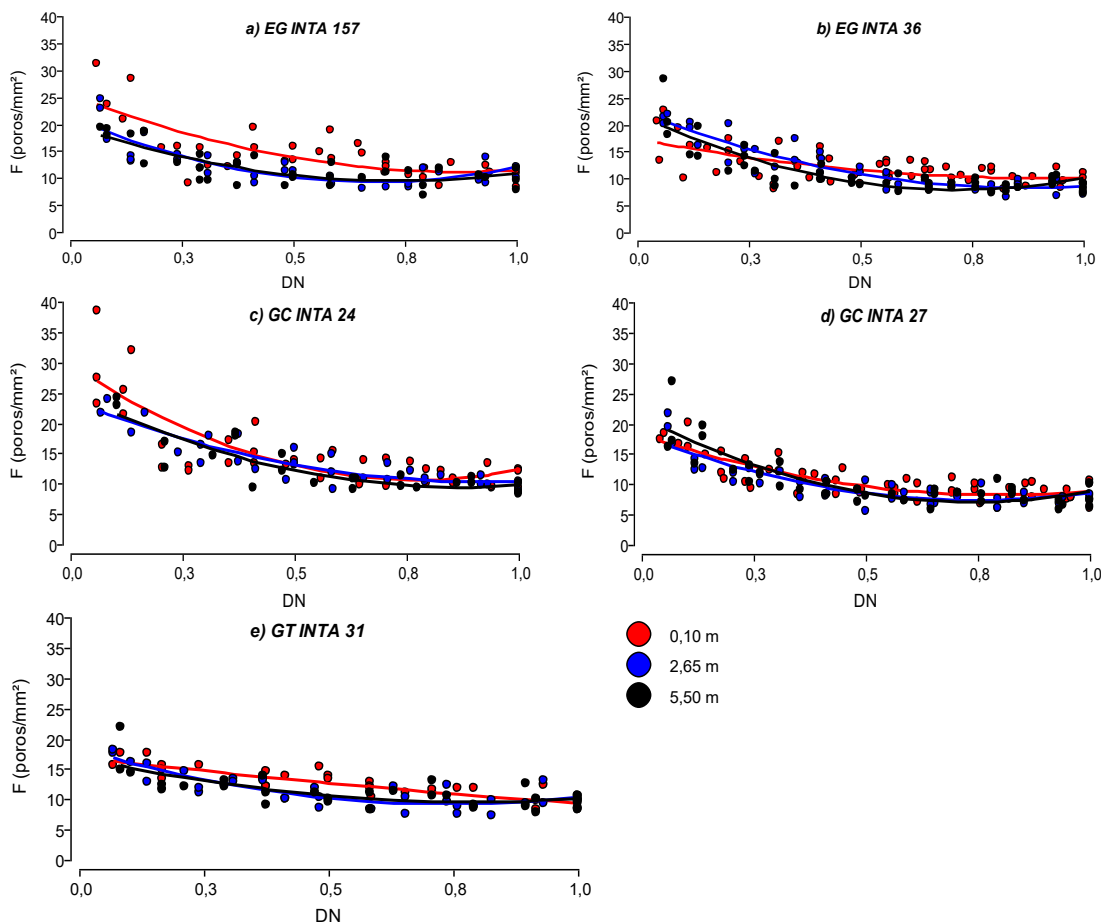


Figura 2. Frecuencia de vasos para cada clon estudiado a tres alturas de fuste y curva de ajuste, siendo DN la distancia radial normalizada entre 0 y 1.

En el Cuadro 2 se presentan las correlaciones existentes entre la variación radial de la densidad básica, diámetro tangencial y frecuencia de poros por clon. Se observó una asociación más fuerte para los clones de mayor densidad (clones híbridos GC y GT) y más débil para los de menor densidad (clones puros EG), siendo positiva en Dtg y negativa en F, a excepción del clon EG INTA 157. Los mayores valores absolutos encontrados en los materiales híbridos en comparación con los materiales EG podría estar influenciada por las características genéticas aportadas por la hibridación con los parentales *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*. Estas especies son en general más tolerantes al estrés hídrico y de mayor densidad de madera (Harrand et al., 2017) y existen trabajos que mencionan el aumento de la densidad de la madera como una respuesta a la resistencia a la cavitación (Naidoo et al., 2006).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación “r” de Pearson entre las variables densidad básica (Db), diámetro tangencial de poro (Dtg) y frecuencia de poros (F), con su respectivo nivel de significancia (* significativo a p-valor < 0,05; ** significativo a p-valor < 0,01).

Clon	Dtg; Db	F; Db	Dtg; F
EG INTA 157	-0,33**	0,22*	-0,85**
EG INTA 36	0,15	-0,33**	-0,77**
GC INTA 24	0,28**	-0,51**	-0,77**
GC INTA 27	0,57**	-0,59**	-0,74**
GT INTA 31	0,42**	-0,54**	-0,80**

Una correlación alta y negativa entre Dtg y F, indica una condición favorable en eventos de helada, al mismo tiempo que restringe el crecimiento por la limitación de la conductividad hidráulica al existir alta frecuencia de poros de bajo diámetro a una edad temprana (Monterubbianesi, 2020). Esto coincide parcialmente con el dap de los clones analizados, ya que EG INTA 157, GC INTA 24 y GT INTA 31 fueron los de menor diámetro en este trabajo.



La correlación negativa entre Dtg y Db y positiva entre F y Db del clon EG INTA 157 fue reportada para la especie *E. grandis* por Naidoo *et al.* (2006), aunque con menores valores absolutos. Particularmente este material genético manifestó un comportamiento radial de la densidad levemente decreciente con un posterior aumento hacia la zona de la albura (Bulman *et al.*, 2021), posiblemente influenciado por otras características anatómicas, como ser proporción de parénquima o espesor de pared de fibras.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que la variación entre alturas de las características de la madera es más notoria en el diámetro tangencial de poros que en la frecuencia, al igual que en el sentido médula-corteza.

Ambos parámetros anatómicos resultaron buenos indicadores de la densidad básica de la madera, con una relación positiva entre Db y Dtg y negativa entre Db y F, a excepción del clon INTA 157 que arrojó un comportamiento inverso a los demás materiales genéticos.

Los clones híbridos presentaron una correlación más fuerte de las variables de la porosidad con la densidad básica que los clones puros, principalmente aquellos de mayor densidad, GC INTA 27 y GT INTA 31.

5. LITERATURA CITADA

- BAROTTO, A. J., MONTEOLIVA, S., GYENGE, J., MARTÍNEZ-MEIER, A., MORENO, K., TESÓN, N., & FERNÁNDEZ, M. E. 2017. Wood density and anatomy of three *Eucalyptus* species: implications for hydraulic conductivity. *Forest Systems*, Volume 26, Issue 1, e010.
- BELINI, U. L., TOMAZELLO FILHO, M., CHAGAS, M. P., & DIAS, C. T. D. S. 2008. Caracterização da estrutura anatómica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. *Revista Árvore*, 32, 707-713.
- BHAT, K. M., PRIYA, P. B., & RUGMINI, P. 2001. Characterisation of juvenile wood in Teak. *Wood Science and Technology*, 34(6), 517-532.
- BULMAN H, C.; WINCK, R. A.; FASSOLA, H. E.; AQUINO, D. R.; STEFANI, P. M. 2021. Variación radial de la densidad a tres alturas de fuste de 5 clones de *Eucalyptus*. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. P 183-187.
- COBAS, A. C., AREA, M. C., & MONTEOLIVA, S. 2013. Juvenile to mature wood transition in one clone of *Populus deltoides* implanted in Buenos Aires, Argentine. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 15(2), 223-234.
- COBAS, A. C.; MONTEOLIVA, S. 2018. Modelos descriptivos de distribución de madera juvenil y madura en *Robinia pseudoacacia*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(2), 287-296.
- DUONG, D. V., SCHIMLECK, L., DINH, T. T., & TRAN, C. V. 2021. Radial variation in cell morphology of *Melia azedarach* planted in northern Vietnam. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23, 7.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10:219-332.
- MONTEOLIVA, S. E., BAROTTO, A. J., ALARCÓN, P., TESÓN, N., & FERNÁNDEZ, M. E. 2017. Densidad de la madera como variable integradora de la anatomía del leño: análisis de ramas y fuste en cuatro especies de *Eucalyptus*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116.
- MONTERUBBIANESI, R. I. 2020. Caracterización anatómica de nuevos clones del género *Eucalyptus* desarrollados por INTA Concordia. Trabajo final de carrera, UNLP, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- NAIDOO, S., ZBONÁK, A., & AHMED, F. 2006. The effect of moisture availability on wood density and vessel characteristics of *Eucalyptus grandis* in the warm temperate region of South Africa. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Wood Structure and Properties* (pp. 117-122).
- RAMOS, L. M. A., LATORRACA, J. D. F., PASTRO, M. S., DE SOUZA, M. T., GARCIA, R. A., & DE CARVALHO, A. M. 2011. Radial variation of wood anatomical characters of *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden and age of transition between adult and juvenile wood. *Scientia Forestalis*, 39(92), 411-418.
- SÁNCHEZ ACOSTA, M. M. 2012. Caracterización de la madera del nuevo híbrido *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden x *Eucalyptus tereticornis*, Smith, su aptitud de usos en Argentina. Tesis doctoral.
- SHASHIKALA, S.; RAO, R. V. (2009). Radial and axial variation in specific gravity and anatomical properties of plantation grown *Eucalyptus citriodora* Hook. *Journal of the Institute of Wood Science*, 19(2), 84-90.
- TSUCHIYA, R., & FURUKAWA, I. 2009. Radial variation of vessel lumen diameter in relation to stem increment in 30 hardwood species. *IAWA journal*, 30(3), 331-342
- ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. 1989. Wood variations: its causes and control. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. doi*, 10, 978-3.
- ZANNE AE, WESTOBY M, FALSTER DS, ACKERLY DA, LOARIE SR, ARNOLD SEJ, COOMES D, 2010. Angiosperm wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. *Amer J Bot* 97(2): 207-215.



DURAMEN Y ALBURA EN CLONES DE EUCALIPTOS DE INTA

Matias S. MARTINEZ¹, Rosa Ángela WINCK², Ciro A. MASTRANDREA¹, Leonel HARRAND¹, G. P. Javier OBERSCHELP¹

RESUMEN

Se determinó la proporción y la variación axial del duramen, la relación duramen/albura y el espesor de albura de 4 clones y un material seminal de *Eucalyptus grandis* provenientes de un ensayo de 15 años de edad, ubicado en la EEA Concordia del INTA, Entre Ríos. Se evaluaron 8 árboles por cada material genético. Se efectuó la medición del diámetro del duramen a 1,45 m, 4,65 m y 8 m del fuste. Los clones *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 y GC INTA 27, se comportaron de manera similar en cuanto al porcentaje de duramen y relación duramen/albura, con menores valores respecto al resto. Estas diferencias en cuanto a proporción de duramen y albura, deberán ser consideradas en el momento de analizar la aptitud o conveniencia de uso de los diferentes materiales en su transformación industrial.

Palabras clave: proporción y variación axial de duramen, espesor de albura, *Eucalyptus*, calidad de madera

1. INTRODUCCIÓN

Para el género *Eucalyptus*, la madera de calidad para la industria del aserrado es preferentemente aquella con mayor proporción de duramen, de aquí la importancia de su cuantificación (Gonçalves, 2006). En cambio, en la industria de postes y maderas que requieren tratamientos con preservantes, se prefiere una mayor proporción de albura (Caniza, 2010). La presencia de duramen proporciona mayor durabilidad natural por contener extractivos (Wiedenhoeft et al., 2005), característica deseable en la madera de construcción y carpintería de calidad (Sellin, 1994; Wilkins, 1991). Esta proporción de duramen aumenta con el tamaño del árbol, mientras que la de albura mantiene un ancho relativamente constante (Brito et al., 2019; Miranda et al., 2015; Kumar y Dhillon 2014).

Por otro lado, la variación en la proporción y características del duramen varían con las especies, el genotipo, edad, posición en el árbol, tasa de crecimiento, área foliar, suelo, clima, calidad del sitio, vitalidad del árbol y su manejo (Cherelli et al., 2018; Kumar y Dhillon, 2014). En su estudio, Pillai et al. (2013) determinaron que la proporción de duramen en *E. grandis* está influenciado por el manejo silvicultural.

La proporción de duramen/albura es considerado un atributo de importancia para determinar la calidad de madera según su uso final (Brito et al., 2019; Pereira et al., 2013).

En estudios de clones de eucaliptos destinados a la fabricación de carbón, se verificó que menores relaciones de duramen/albura están relacionadas con densidades básicas mayores, implicando rendimientos más elevados en este tipo de producto (Pereira et al., 2013).

Gominho et al. (2001), en evaluaciones de clones de eucaliptos híbridos, observaron homogeneidad del material clonal en cuanto a proporción de duramen a diferentes alturas del árbol y formación del duramen a partir de los 5 años de edad.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la proporción de duramen, relación duramen/albura y el espesor de albura para 4 clones, empleando como testigo material de semilla de *Eucalyptus grandis*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron árboles de 15 años de edad provenientes de un ensayo clonal de Eucaliptos establecido

¹ Investigadores EEA Concordia, INTA. Correo: martinez.matias@inta.gov.ar

² Investigador EEA Montecarlo, INTA. Docente FCF- UNaM, Eldorado, Misiones, Argentina.



en el predio de la EEA INTA Concordia, Entre Ríos (58°07'16" Long O, 31°21'56" Lat. S; altitud 47 m s. n. m.). La precipitación media anual es de 1345 mm, temperatura media anual de 18 °C, siendo el mes más cálido en enero y el más frío en julio, con períodos de heladas meteorológicas con una frecuencia media anual de 8,5 (Garrán y Garin, 2010). La clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Concordia, se corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca, designado como Cfa (Ramos et al., 2018).

Los materiales genéticos fueron plantados a un distanciamiento de 3,5 m x 3,5 m, compuesto por parcelas lineales de 5 plantas en dirección norte-sur, con doble bordura perimetral de *E. grandis*. Estos materiales fueron seleccionados por sus características de crecimiento, rectitud de fuste y antecedentes de mayor tolerancia al frío.

En el Cuadro 1 se pueden observar las características dendrométricas para los materiales genéticos evaluados. Se seleccionaron 8 árboles por cada tratamiento.

Cuadro 1. Información general sobre diferentes materiales genéticos.

Material Genético	Especie	Ht (m)	C.V. (%)	Dap.cc (cm)	C.V. (%)	Vol.cc (m ³)	C.V. (%)
EG HSP	<i>E. grandis</i> de semilla	31,68 (27,8 – 35,0)	7,25	29,19 (22,1 – 33,0)	15,78	0,99 (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	0,56 (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	Clon <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	0,46 (0,27 – 0,62)	25,82
GC INTA 27	Clon <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	0,85 (0,54 – 1,34)	32,16

Ht = altura total promedio (metros), C.V.=coeficiente de variación, Dap.cc = diámetro con corteza promedio a 1,3 m de altura del suelo (cm), Vol.cc = volumen promedio individual (m³). Entre paréntesis, máximos y mínimos de la variable.

A partir del 1,30 m se tomaron dos rollizos consecutivos de 3,20 m de longitud. Estos rollizos de cada material genético fueron identificados como R1 (1,45 m a los 4,65 m del fuste) y R2 (4,80 m a los 8 m del fuste); en los 15 cm faltantes entre rollizos se extrajeron rodajas para otros estudios.

La medición del diámetro del duramen se realizó mediante la identificación visual de los límites por diferenciación de color y, en cada extremo del rollizo, se realizaron dos mediciones perpendiculares entre sí con cinta métrica. El ancho de la albura se obtuvo por diferencia entre el diámetro promedio del rollizo sin corteza y el diámetro promedio del duramen, dividido por dos.

La proporción de duramen se obtuvo de la división de su área respecto al área del extremo del rollizo sin corteza. La relación de duramen con la albura (D/A) se determinó por la división del área del duramen respecto al área de la albura. Las áreas de las secciones transversales fueron calculadas suponiendo a las mismas como circulares.

Para el análisis de las variables consideradas, se utilizaron modelos lineales generales mixtos (MGL) y la comparación de medias se efectuó mediante el test de DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves). Se emplearon los registros obtenidos a los 1,45 m, 4,65 m y 8 m para el estudio de la variación axial de las características evaluadas. En todos los casos se empleó un nivel de significancia de 5 %. Los datos extremos considerados "outliers" se desestimaron del análisis.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espesor de la albura resultó en el rango de 24 y 36 mm, correspondiendo los extremos a los clones EG INTA 157 y GC INTA 27, respectivamente (Cuadro 2). Estos dos materiales se diferenciaron significativamente entre sí y del resto de los tratamientos.

La proporción de duramen promedio de los materiales genéticos, resultó entre 45 % y 60 % (Cuadro 2), con diferencias estadísticamente significativas entre los materiales evaluados (p -valor $\leq 0,05$); se



observa la formación de dos agrupaciones, donde los clones híbridos (GC INTA 24 y GC INTA 27) se comportaron de manera similar, y arrojaron menores valores medios de proporción de duramen, diferenciándose de los clones puros y del material seminal.

Cuadro 2. Valores medios de espesor de albura, proporción de duramen y relación duramen/albura de las tres alturas evaluadas para cada material genético.

Material genéticos	Espesor de albura (mm)	Duramen (% Total área s/c)	Duramen/Albura (área/área)
EG HSP	31,2 (14,8) b	56,0 (8,1) a	1,3 (18,4) b
EG INTA 157	24,1 (21,2) c	55,1 (10,0) a	1,3 (24,6) b
EG INTA 36	29,3 (17,7) b	60,4 (10,6) a	1,6 (26,2) a
GC INTA 24	28,0 (16,3) b	47,6 (17,6) b	1,0 (31,0) c
GC INTA 27	36,8 (12,8) a	45,4 (20,3) b	0,9 (42,2) c

Coefficiente de variación (%) entre paréntesis. Medias con una letra común no son significativamente diferentes entre genotipos (p-valor $\leq 0,05$; Test de media DGC). Lectura de diferencia de medias en sentido vertical.

La relación duramen/albura (D/A) varió de 0,9 a 1,6 en el conjunto del promedio de los datos (Cuadro 2), registrando valores promedios menores para GC INTA 27 y mayores en EG INTA 36. Se observaron diferencias significativas entre los materiales clonales híbridos (GC) con respecto al material seminal y a los clones intraespecíficos (EG). El material seminal se comportó de manera similar al clon EG INTA 157, diferenciándose del resto.

Se observó una disminución del porcentaje de duramen de los materiales evaluados desde los 1,45 m hasta los 8 metros, siendo esta disminución mayor en el GC INTA 24 (17 %) y menor en EG INTA 157 (4 %) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Proporción promedio (en porcentaje) de duramen a distintas alturas de fuste.

Material genético	1,45 m	4,65 m	8,00 m
EG HSP	58,6 (8,3) a	55,3 (7,0) a	54,0 (7,5) a
EG INTA 157	55,6 (9,5) a	56,1 (11,9) a	53,6 (9,2) a
EG INTA 36	62,9 (10,5) a	58,8 (10,0) b	59,5 (11,4) b
GC INTA 24	52,5 (9,2) a	46,1 (13,7) b	44,3 (25,2) b
GC INTA 27	49,9 (16,9) a	45,8 (18,1) b	40,5 (23,2) b

Coefficiente de variación (%) entre paréntesis. Medias con una letra común no son significativamente diferentes dentro de cada material genético (p-valor $\leq 0,05$; Test DGC). Lectura de diferencia de medias en sentido horizontal.

Los materiales genéticos evaluados alcanzaron un promedio de 55,9 % para la proporción de duramen a la altura del 1,45 m, con valores que oscilaron entre 49,9 % y 62,9 % (Cuadro 3). El análisis de porcentaje de duramen en altura de fuste, presentó diferencias estadísticamente significativas en el caso de la altura 1,45 m con respecto a 4,65 m y 8 m. El comportamiento de EG HSP y EG INTA 157 para el porcentaje de duramen a diferentes alturas resultó homogéneo, mientras que los restantes materiales genéticos presentaron similar comportamiento con una reducción significativa del valor medio de la proporción de duramen con la altura.

Para la relación D/A se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la altura del fuste para los clones híbridos (GC INTA 24 y GC INTA 27) y para el EG HSP. La relación D/A a 1,45 m fue mayor respecto a las alturas 4,65 m y 8,00 m, éstas 2 últimas presentando valores similares entre ellas. Un comportamiento diferente se observó en los materiales clonales puros (EG) donde sus valores no presentaron diferencias, manteniéndose constantes con la altura de fuste (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variación promedio de la relación duramen y albura (D/A) a distintas alturas del fuste.

Material genético	1,45 m	4,65 m	8,00 m
EG HSP	1,5 (18,3) a	1,2 (15,2) b	1,2 (16,2) b
EG INTA 157	1,3 (22,6) a	1,3 (30,9) a	1,2 (18,9) a
EG INTA 36	1,8 (26,7) a	1,5 (24,9) a	1,5 (26,1) a
GC INTA 24	1,1 (17,8) a	0,9 (25,8) b	0,9 (44,8) b
GC INTA 27	1,0 (32,8) a	0,9 (32,0) b	0,9 (61,5) b

C.V.: Coeficiente de variación (%) entre paréntesis. Medias con una letra común no son significativamente diferentes dentro del mismo material genético (p-valor $\leq 0,05$; Test de media DGC). Lectura de diferencia de medias en sentido horizontal.



Otros estudios de proporciones de duramen en especies de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus tereticornis* como el de Chelleri et al. (2018), han obtenidos valores superiores a los encontrados en este trabajo, de 67 % a 76 %, a 1,30 m de fuste. Gominho et al. (2001) para clones híbridos de *Urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) de 5-6 años, presentaron 51 % de proporción de duramen respecto al área total, en promedio de las diferentes alturas. Valores similares fueron obtenidos para el fuste completo de árboles de *E. grandis* por Winck et al. (2016), quienes determinaron un incremento de la proporción de duramen con la edad y registraron valores medios de 55, 65, 68 y 75 % de duramen respecto al volumen sin corteza, a las edades de 10, 12, 15 y 32 años, respectivamente.

Los resultados obtenidos en otros estudios de *E. grandis* de 9,5 años de edad (Wilkins, 1991) demostraron un incremento del área del duramen influenciado por las dimensiones del diámetro a la altura del pecho (DAP). Diferentes investigaciones con distintas especies, demostraron que el área del duramen está sujeta al crecimiento del árbol y no a su edad. Esto se observó también en otras especies de eucaliptos como *E. tereticornis* y *Corymbia citriodora* (Cherelli et al., 2018; Pillai et al., 2013; Kumar y Dhillon, 2014). En plantaciones de clones híbridos *Urograndis* de 4 años con diferentes espaciamientos, Brito et al. (2019), no encontraron diferencias estadísticas significativas en la relación duramen/albura, observando una correlación significativa con el DAP.

4. CONCLUSIONES

Los materiales evaluados presentan diferencias en su espesor de albura y proporción de duramen según su constitución genética, teniendo los materiales híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* menor proporción de duramen o relación duramen/albura. Estas diferencias deberán ser consideradas en el momento de analizar la aptitud o conveniencia de uso de los diferentes materiales en su transformación industrial.

Se considera un rasgo positivo para la industria del aserrado la mayor proporción de duramen, mientras que para la industria de la celulosa y de impregnación, aquellos con mayor proporción de albura resultan más conveniente.

5. LITERATURA CITADA

- BRITO, A.S.; VIDAURRE, G.B.; OLIVEIRA, J.T.S.; MISSIA DA SILVA, J.G.; RODRIGUES, B.P.; CARNEIRO, A.C.O. 2019. Effect of planting spacing in production and permeability of heartwood and sapwood of eucalyptus wood. *Floresta e Ambiente*, 26(esp1), e20180378. 9p. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.037818>
- 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 usos sólidos. [Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales]. Repositório Institucional - INTA Digital.
- 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. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90(1):425-438. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160195>.
- GARRÁN, S.; GARIN, O. 2010. Síntesis agroclimática de la región de Concordia. Concordia-Entre Ríos: EEA INTA. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_concordia_sntesis_agroclimatica_de_la_region_de.pdf
- GONÇALVES, G.F. 2006. Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para produtos sólidos. [Tese Mestrado, Universidade Federal de Espírito Santo. Brasil]. Repositório institucional - Universidad Federal Espírito Santo.
- GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J.; RODRIGUES, J.C.; PEREIRA, H. 2001. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the Eucalypt hybrid *urograndis* (*E. grandis* x *E. Urophylla*). *Wood and Fiber Science* 33(1):3-8. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1393>
- 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. ISSN 0976-0512 (en línea); 0976-0504 (impresión).
- MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; PEREIRA, H. 2015. Heartwood, sapwood and bark variation in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in 2nd rotation and comparison with the single-stem 1st rotation. *Silva Fennica* 49(1):13p. <https://doi.org/10.14214/sf.1141>.



- PEREIRA, B.L.C.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL B.V.; SANTOS, L.C. 2013. Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de Eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. *Scientia Forestalis* 41(98):217-225.
- PILLAI, P.K.; PANDALAI, R.C.; DHAMODARAN, T.; SANKARAN, K.V. 2013. Wood density and heartwood proportion in *Eucalyptus* trees from intensively-managed short-rotation plantations in Kerala, India. *Journal of Tropical Forest Science*, 25. 220-227.
- RAMOS, S.; DE RUYVER, R.; GATTINONI, N.; GARIN, R.; GARRAN, S. 2018. Estación agrometeorológica del INTA Concordia 50 años de servicio a la comunidad. (Serie de extensión N° 16). Ed. INTA. ISSN 1851 314. https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_concordia_50_anos_estacion_agrometeorologica_eea_concordia_inta.pdf
- SELLIN, A. 1994. Sapwood–heartwood proportion related to tree diameter, age, and growth rate in *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(5):1022–1028. <https://doi.org/10.1139/x94-133>.
- WIEDENHOEFT, A.; REGIS, B. 2005. Structure and function of wood. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. (Ed. Roger M. Rowell). 485p. ISBN 0-8493-1588-3.
- WILKINS, A. P. 1991. Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. *Wood Science and Technology*, 25(6). 415-423. <https://doi.org/10.1007/BF00225234>
- 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>



PODER CALORÍFICO DE MADERA DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *E. camaldulensis* PROVENIENTES DE CONCORDIA, ENTRE RÍOS

Elizabeth M. WEBER¹, Iris FIGUEREDO², Elisa A. BOBADILLA¹, Sabina E. GLÜCKSBURG³,
Adelaida BRAGAÑOLO¹, Matías S. MARTÍNEZ⁴, Ciro MASTRANDREA, Obdulio
PEREYRA¹, Teresa M. SUIREZS¹

RESUMEN

En nuestro país, históricamente las plantaciones con eucaliptos se han realizado con material proveniente de semillas. Desde hace más de una década, existen materiales clonales de *E. grandis* en el mercado, seleccionados por su mayor crecimiento y mejor rectitud. Con estas mismas premisas, más recientemente se incorporaron clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), pero con la particularidad de presentar mayor tolerancia frente a factores climáticos adversos, principalmente heladas. Aportará información al programa de mejoramiento genético, y al sector de la bioenergía industrial. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de tecnología de la madera, IMAM, Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. La determinación del poder calorífico se realizó siguiendo la Norma IRAM 17016. Este trabajo tiene por objetivo presentar los resultados del poder calorífico inferior y superior de las maderas provenientes de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *E. camaldulensis* de Entre Ríos. Los resultados muestran que el material con mayor poder calorífico fue *E. grandis* de semilla de huerto semillero de progenies (HSP), seguido por los clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 27 y GC INTA 24, y luego por los clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* EG INTA 157 y EG INTA 36.

Palabras clave: *poder calorífico superior, poder calorífico inferior, mejoramiento genético*

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo está enmarcado en el Proyecto CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE MADERAS PROVENIENTES DE CLONES PUROS DE HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *E. camaldulensis* PROVENIENTES DE DOS ZONAS GEOGRÁFICAS 16/F1338-PI.

En nuestro país, históricamente las plantaciones con eucaliptos se han realizado con material proveniente de semillas. Desde hace más de una década, existen materiales clonales de *E. grandis* en el mercado, seleccionados por su mayor crecimiento y mejor rectitud. Recientemente, se incorporaron clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), pero con la particularidad de presentar mayor tolerancia frente a factores climáticos adversos, como heladas y sequías. Estos clones puros e híbridos se presentan como una alternativa productiva, con características de madera diferentes al material de semilla, ya sea por la homogeneidad del material clonal y/o por la contribución del parental *E. camaldulensis* en el caso de los clones híbridos.

El material con el que se trabajó en esta etapa presenta las siguientes características:

Clon EG-INTA-36: presenta abundantes ramas con un ángulo de inserción entre 45° y 70°. El fuste

¹ Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Materiales de Misiones, CONICET, Calle Bertoni 124, Eldorado, Misiones, Argentina

² INTA Montecarlo, Misiones, Argentina

³ Estudiante Facultad de Ciencias Forestales, Eldorado, Misiones, Argentina

⁴ Área de tecnología de la madera de la Estación Experimental Agropecuaria Concordia del INTA



exhibe leve curvatura, con desprendimiento de corteza en fajas evaluada en individuos de 5 años. La densidad básica de su madera a la edad de 8 años fue de 432 kg/m³. La proporción de corteza es de 9,0 % (INTA, s.f.)

Clon EG-INTA-157: presenta fuste recto y con ángulo de inserción de ramas entre 45° y 70°. En ejemplares de 5 años el espesor de corteza es de 5,87 mm con desprendimientos en fajas y placas. La densidad básica de su madera a los 8 años de edad fue de 360 kg/m³. La proporción de corteza del 8,4 % (INTA, s.f.).

Clon GC-INTA-27: las ramas se insertan con un ángulo mayor a 70°. Se observó que el desprendimiento de la corteza a los 5 años fue en placas largas. El espesor de corteza media es del 8,43 %. La densidad básica de la madera de este clon a los 6 años de edad fue de 519 kg/m³ (INTA, s.f.).

Clon GC-INTA-24: este clon entre otros se destaca por presentar mayor productividad, tolerancia a heladas, mayor densidad de la madera, haciéndola apta para diversas aplicaciones. La densidad básica de la madera a los 2 años de edad fue de 450 kg/m³ (INTA, s.f.).

El poder calorífico de la madera de diferentes especies varía en un intervalo muy reducido, en coníferas es un 2 % superior que en frondosas, debido a la mayor cantidad de lignina, resina, ceras y aceites. El poder calorífico de la celulosa está entre 4108,15 y 4179,8 kcal/kg; hemicelulosa 3821,53 kcal/kg y la lignina de 6209,99 a 6448,84 kcal/kg (Asociación Española, 2012).

Quirino et al. (2005) determinaron el poder calorífico superior de 4525 kcal/kg para *Eucalyptus grandis*.

Figueredo et al. (2019), determinaron el poder calorífico de siete especies exóticas en Misiones, entre ellas *Eucalyptus grandis* con valores entre 3856,6 kcal/kg y 4140,3 kcal/kg, inferior y superior respectivamente.

Aguerre et al. (1995) encontraron valores de poder calorífico entre 4387 y 4790 kcal/kg para *Eucalyptus grandis*.

La determinación del poder calorífico de clones de *E. grandis* e híbridos aportará información al sector de la bioenergía industrial y aportará conocimientos al programa de mejoramiento genético, que permitirían incentivar el cultivo con fines específicos y la toma de decisiones.

Este trabajo tiene por objetivo presentar los resultados del poder calorífico inferior y superior experimental de las maderas provenientes de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *E. camaldulensis* de Entre Ríos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 5 materiales genéticos, provenientes del programa de Mejoramiento Genético de Eucalipto del INTA, instalado en la EEA Concordia de INTA, Entre Ríos; al momento de muestreo, las plantas poseían 15 años de edad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los materiales genéticos evaluados provenientes de Concordia

Material Genético	Especie
EG HSP	<i>E. grandis</i> de semilla de huerto semillero de progenies (HSP)
EG INTA 157	Clon <i>E. grandis</i>
EG INTA 36	Clon <i>E. grandis</i>
GC INTA 24	Clon <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>
GC INTA 27	Clon <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>

El sitio corresponde a un ensayo ubicado en la EEA Concordia de INTA, Concordia, Entre Ríos. El área de la plantación se sitúa en una longitud de 58°07'16" O, latitud de 31°21'56"S y altitud 47 msnm. La precipitación media anual es de 1345 mm. La temperatura media anual de 18°C, siendo el mes más cálido enero y el más frío julio, con períodos de heladas meteorológicas de una frecuencia media anual de 8,5 (Garrán y Garin, 2010). La clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Concordia, se corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca, designado



como Cfa (Ramos *et al*, 2018). El sitio posee un suelo arenoso con relieve suavemente ondulado, tipo Entisol.

Determinación del poder calorífico

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de tecnología de la madera, IMAM, Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. La determinación del poder calorífico se realizó siguiendo la Norma IRAM 17016.

Se tomaron porciones de madera de los materiales genéticos a ser evaluados, procediéndose a secar hasta peso constante en estufa, a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente se astillaron para ser procesadas en un molino a cuchillas, marca Fritsch® (Figura 1), obteniéndose un fino polvillo con tamizado cuyo tamaño de partícula fue de 0,25 mm (Figura 2). El material así procesado, y luego prensado, se formaron cinco pastillas de $1\text{g} \pm 0,01$ por clon (Figura 3), las que fueron combustionadas y registrándose la variación térmica requerida para calcular el poder calorífico inferior y superior en una bomba calorimétrica marca Parr® modelo 1341, con oxígeno a 25 atm (Figura4 y5).



Figura 1. Molino a cuchillas Fritsch®

Figura 2. Tamiz grado 0,25



Figura 3: Pastilla de 1 g para ensayo

Figura 4: Bomba calorimétrica

Figura 5: Calorímetro Parr® modelo 1341

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$PCS = \frac{Ca.(K+ma).(tf-ti) - Ch.(Li-Lf)}{G} \left[\frac{\text{cal}}{\text{gr}} \right]$$

$$PCI = \frac{Ca.(K+ma).(tf-ti) - Ch.(Li-Lf)}{G} - \frac{r.g}{G} \left[\frac{\text{cal}}{\text{gr}} \right]$$

Descripción	Símbolo	Unidad
Constante del calorímetro	K	gr
Peso de agua	ma	gr
Peso combustible	G	gr
Peso agua condensada	g	gr
Temperatura inicial	ti	°C
Temperatura final	tf	°C
Longitud inicial fusible	Li	cm
Longitud final fusible	Lf	cm
Calor del hilo fusible	Ch	cal/cm
Calor vaporización agua	r	cal/gr
Calor específico agua	ca	cal/gr
Poder calorífico superior	PCS	cal/gr
Poder calorífico inferior	PCI	cal/gr



Para el análisis de los datos obtenidos, se utilizó el software estadístico Infostat, a través del cálculo de medidas descriptivas de posición y variabilidad, y posteriormente a través de un análisis de variancia para comparar los cinco tratamientos bajo estudio y el test de comparación de medias de LSD de Fisher.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos son detallados en la Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores medios, comparación de medias, desvío estándar (DE), coeficiente de variación (CV), mínimo (Min), máximo (Max) de poder calorífico superior e inferior (PCS y PCI) de cuatro clones y un material seminal de *Eucalyptus grandis*

Muestra		Media kcal/kg		D.E. kcal/kg	CV	Mín	Máy
EG36	PCS	4094,60	A	100,8	2,46	3926,00	4192,00
	PCI	3771,20	A	93,95	2,49	3616,00	3870,00
EG157	PCS	4146,20	A	37,18	0,9	4107,00	4196,00
	PCI	3803,80	A	56,21	1,48	3761,00	3902,00
GC 24	PCS	4187,95	A	152,03	3,63	3961,70	4286,10
	PCI	3840,18	A	150,25	3,91	3621,40	3957,70
GC 27	PCS	4195,20	A	45,69	1,09	4147,00	4245,00
	PCI	3852,40	A	54,28	1,41	3781,00	3904,00
EG HSP	PCS	4337,00	B	139,36	3,21	4157,00	4518,00
	PCI	4020,80	B	123,46	3,07	3867,00	4184,00

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según test de separación de media de LSD Fischer ($p > 0,05$)

Del resultado del test de comparación de medias se observa que EG HSP presenta diferencia significativa y valores mayores con respecto a los demás clones, no así entre los cuatro materiales restantes.

El poder calorífico superior promedio de todos los clones fue de 4192,37 kcal/kg y el inferior 3858,4 kcal/kg.

Los valores de PCS y PCI, son inferiores a los valores obtenidos con Quirino et al. (2005) donde determinaron el poder calorífico superior de 4525 kcal/kg para *Eucalyptus grandis*, y Aguerre et al. (1995) con valores de poder calorífico entre 4,387 y 4,790 Kcal/kg.

Figueredo *et al.* (2019), determinaron el poder calorífico de siete especies exóticas implantadas, determinando el poder calorífico de *Eucalyptus grandis* entre los valores mínimo 3856,6 kcal/kg y máximo 4140,3 kcal/kg; similares a los de este trabajo, los cuales varían entre 3926 kcal/kg y 4518 kcal/kg.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de la determinación del poder calorífico inferior y superior de las maderas provenientes de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *E. camaldulensis* de Entre Ríos muestran que el material con mayor poder calorífico fue *E. grandis* de semilla proveniente de huerto semillero de progenies (HSP), seguido por los clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 27, GC INTA 24 y luego por los clones *E. grandis* EG INTA 157 y EG INTA 36.

5. LITERATURA CITADA

AGUERRE, M.; CARPINETI, L.; DALLA TEA, F.; FANGI, J. 1995. Manual para productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. INTA. Recuperado el 12 de Febrero de 2019 de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp>.



- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA. 2012. Manual de Combustibles de Madera. (AEVBIOM, Ed., & EURO:TEXT, Trad.) Valladolid, España. Recuperado el 3 de Enero de 2019.
- FIGUEREDO, I; BRAGAÑOLO, A; VILLALBA, P; SUIREZS, T; ZADERENKO, C. 2019. Poder calorífico de seis especies implantadas en la provincia de Misiones, Argentina. www.jotefa.com
- GARRÁN, S.M; GARIN, R.O. 2010. https://www.academia.edu/26899444/Concordia_7_de_octubre_de_2010. Recuperado el 10 de agosto de 2022
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. (S.f.). Catálogo de variedades vegetales del INTA. Ministerio de Agricultura, Ganadería Pesca. Recuperado el 29 de agosto de 2022 <https://inta.gob.ar/variedades>.
- IRAM 17016. 1960. (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Carbones Método de la determinación del poder calorífico
- LÓPEZ, J.A., 2016. Producción de leña renovable para el consumo doméstico de pequeños productores rurales, pequeños emprendimientos rurales, periurbanos y urbanos: resultados a los 25 meses de edad. Recuperado el 29 de agosto de <http://www.cpcfch.org.ar/descargas/trabvol007.pdf>
- QUIRINO, W.; TEXEIRA DO VALE, A.; AL, E. 2005. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. Revista da Madeira: 100-106.



CARACTERIZACIÓN DENDROENERGÉTICA DE LA MADERA Y EL CARBÓN DE DOS CLONES DE ÁLAMO

Natalia RAFFAELI^{1,2}, Eleana M. SPAVENTO^{1,3}, A. José BAROTTO^{1,4}

RESUMEN

La actividad forestal y foresto-industrial genera un volumen significativo de biomasa residual, factible de ser aprovechada con distintos fines, entre ellos la producción de energía. Entre las especies forestales cultivadas relevantes en nuestro país se encuentran las del género *Populus* sp., ocupando el tercer lugar en importancia en cuanto a superficie forestada y volumen de madera generado, detrás del pino y el eucalipto. Su madera se utiliza en una variedad de aplicaciones, al tiempo que su transformación mecánica provoca una gran cantidad de residuos no siempre reutilizados. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar diversas propiedades dendroenergéticas de la madera y el carbón resultante de ella, de dos clones del género *Populus* ampliamente difundidos en nuestro país (*Populus x euramericana* 'I-214' de la Patagonia Norte y *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' del Delta del Río Paraná). Los materiales de ambas procedencias demostraron buena aptitud para ser utilizados con fines energéticos, verificados a través de los parámetros de humedad, contenido de cenizas, poder calorífico y rendimiento de carbonización. El contenido de volátiles (y por ende, el nivel de carbono fijado) de los carbones de ambos materiales arrojaron valores superiores a los esperados, lo cual obliga a revisar el protocolo de laboratorio para la determinación de esta variable. Comparativamente, *Populus x euramericana* 'I-214' resultó levemente superior en su calidad dendroenergética.

Palabras clave: *Populus*, salicáceas, pirólisis, biomasa, biocombustible, poder calorífico

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de plantaciones forestales y el procesamiento industrial de la madera generan volúmenes significativos de biomasa leñosa que podrían ser utilizados con diversos fines, entre ellos la producción de energía.

En nuestro país, existen en la actualidad unas 80 000 hectáreas de Salicáceas (álamos y sauces), que se constituyen como el tercer grupo en importancia en cuanto a superficie forestada y volumen de madera extraído, luego de los pinos y los eucaliptos (MAGyP, 2021).

El álamo presenta características favorables, tales como su rápido crecimiento, la posibilidad de propagación en forma vegetativa, su capacidad de rebrote, además de su adaptabilidad a una amplia variedad de condiciones climáticas y edáficas. Su madera es utilizada en múltiples aplicaciones; históricamente, ha servido para la construcción de cajones frutihortícolas, envases, embalajes y fósforos y, más recientemente, se ha utilizado en la elaboración de productos laminados encolados para usos estructurales, de mayor valor agregado (Thomas y Garcés, 2011; Borodowski, 2017). Se desconocen estudios publicados recientemente que evalúen su calidad como biomasa para fines energéticos.

Dos de los clones más difundidos en Argentina son *Populus x euramericana* 'I-214' y *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. Si bien en los últimos años se han realizado investigaciones sobre las propiedades tecnológicas de la madera de estos clones (Spavento, 2015; Spavento et al., 2017), poco se conoce

¹ Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. Diagonal 113 y 62. La Plata. 1900. Buenos Aires. Argentina.

² natalia.raffaelli@agro.unlp.edu.ar (autor de correspondencia)

³ eleana.spavento@agro.unlp.edu.ar

⁴ jose.barotto@agro.unlp.edu.ar



acerca de sus características dendroenergéticas y posibles aplicaciones como biocombustible, ya sea como madera o como carbón vegetal.

Los combustibles derivados de la biomasa se caracterizan por ser renovables y menos contaminantes, y en el marco de una crisis energética global, aportan fuentes de energía disponibles localmente, reduciendo la dependencia externa y promoviendo el desarrollo regional. Asimismo, proporcionan una solución técnica y ambiental frente al exceso de residuos generados por la industria (FAO, 2020). Es por ello que surge la necesidad de estudiar las características dendroenergéticas de la madera de álamo cultivado en nuestro país, tanto en su forma natural como en su producto de pirólisis (carbón vegetal).

El objetivo del presente trabajo fue determinar en laboratorio una serie de parámetros físico-químicos (humedad, cenizas, volátiles, poder calorífico, rendimiento de carbonización, carbono fijado) de la madera y el carbón de dos clones de álamo, a los fines de establecer el potencial para su utilización con fines energéticos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con maderas del género *Populus* sp. de dos procedencias:

- *Populus x euramericana* 'I-214', proveniente de plantaciones comerciales constituidas como sistemas silvopastoriles, con turnos de corta de 15 años, ubicadas en el Valle Medio de Río Negro.
- *Populus deltoides* 'Australiano 129/60', proveniente de plantaciones comerciales, con turnos de corta de 12 a 16 años del Delta del Río Paraná.

A partir de material acondicionado en laboratorio en forma de tablas, se elaboraron probetas de pequeñas dimensiones (cubos de 2 cm en cada cara).

Se realizaron las siguientes determinaciones en madera:

a. Proporción de cenizas (%). Se colocaron 4 probetas de madera en crisoles de porcelana sin tapa, y se llevaron a mufla eléctrica, determinando el contenido de cenizas según el protocolo de trabajo (ascenso de temperatura a una rampa de 8 °C/min hasta alcanzar los 900 °C, permanencia a esa temperatura por 2 horas y descenso natural hasta alcanzar temperatura ambiente).

$$\text{Proporción de cenizas (\%)} = \text{peso cenizas} / \text{peso madera} * 100$$

b. Poder calorífico superior de la madera (kcal/kg). Se utilizó una bomba calorimétrica siguiendo la norma europea Fpr EN 14918 ("Solid biofuels - Determination of calorific value").

c. Rendimiento de carbonización (%). Las probetas de madera fueron sometidas a un proceso de pirólisis en laboratorio bajo condiciones controladas, utilizando mufla eléctrica. Se trabajó con alícuotas entre 15 y 30 gramos, colocadas en crisoles de porcelana con tapa. Se siguió un protocolo propio, derivado de las consideraciones sugeridas por FAO en su manual de carbonización (ascenso de temperatura a una rampa de 1 °C/min hasta alcanzar los 500 °C, permanencia a esa temperatura por 4 horas y descenso natural hasta alcanzar temperatura ambiente) (FAO, 1983).

$$\text{Rendimiento de carbonización (\%)} = \text{peso carbón} / \text{peso madera} * 100$$

Luego, se realizaron las siguientes determinaciones en carbón:

d. Humedad de equilibrio (%). Luego de un período de estabilización adecuado (10 a 14 días en laboratorio), se tomaron alícuotas de 2 gramos por cada material carbonizado y molido, se llevaron a estufa a 105 °C durante 72 horas y luego se pesaron.

$$\text{Humedad de equilibrio (\%)} = (\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / \text{peso seco} * 100$$

e. Proporción de cenizas (%). Se tomaron alícuotas de aproximadamente 2 gramos de carbón molido, se colocaron en crisoles sin tapa y se llevaron a mufla, utilizando el mismo protocolo que en el caso de madera.



Proporción de cenizas (%) = peso cenizas / peso carbón * 100

f. Proporción de volátiles (%). La determinación se realizó empleando mufla eléctrica y siguiendo un protocolo propio (ascenso de temperatura a una rampa de 8 °C/min hasta alcanzar los 600 °C, permanencia a esta temperatura por 60 minutos y descenso natural hasta alcanzar temperatura ambiente). Se trabajó con alícuotas de 1 gramo por muestra de carbón molido en crisoles de porcelana con tapa.

Proporción de volátiles (%) = (peso con volátiles - peso sin volátiles) / peso con volátiles * 100

g. Carbono fijo (%): Fue calculado con la siguiente fórmula en base a los datos obtenidos:

Carbono fijo (%) = 100 - (Cont. Humedad + Prop. volátiles + Prop. cenizas)

h. Poder calorífico superior del carbón (kcal/kg). Se llevó a cabo siguiendo la misma norma que para madera.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dendroenergéticas de la madera (Cuadro 1)

El **contenido de cenizas** en madera resultó 0,91 % para *Populus x euramericana* 'I-214' y 1,57 % para *Populus deltoides* 'Australiano 129/60', ubicándose dentro del rango habitual descrito por la literatura en madera de álamo de plantaciones de turno corto en Europa (García Vallejo et al., 2001; Marcos Martín et al., 2004). Estos valores se consideran niveles bajos de ceniza y ello resulta en una característica favorable tanto para el empleo de la madera como biocombustible (por ejemplo, en la alimentación de calderas de biomasa) como para la producción de carbón vegetal (menor carga mineral). El bajo contenido de cenizas en la madera influye positivamente en su poder calorífico y disminuye el desgaste y la necesidad de limpieza de equipos.

En cuanto al **poder calorífico** de ambas maderas, se reportó un valor de 4.420 kcal/kg para *Populus x euramericana* 'I-214' y 4.175 kcal/kg para *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. El poder calorífico demuestra una íntima dependencia de la composición química de la madera y es indicativo de la cantidad de energía que libera en la combustión un material, por lo cual cuanto mayor sea, más favorable será esa madera para ser empleada como biocombustible. En general, se trata de un valor relativamente estable para materiales lignocelulósicos, y los resultados encontrados se hallan en consonancia con algunos reportados para especies cultivadas en nuestro país (Cardozo, 2016).

El **rendimiento de la carbonización** para ambos clones resultó similar, siendo 21,81 % para *Populus x euramericana* 'I-214' y 23,51 % para *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. Un rendimiento alto del proceso de carbonización es deseable, ya que aumenta la eficiencia del proceso y la cantidad de producto final, pudiendo considerarse satisfactorios aquellos que varían entre el 25 y 30 %. En este caso, resultaron levemente menores y ello puede deberse a la inestabilidad del material durante el proceso de pirólisis, sufriendo pequeñas pérdidas de masa por volatilización.

Características dendroenergéticas del carbón (Cuadro 1)

La **humedad de equilibrio** resultó 3,97 % para el carbón de *Populus x euramericana* 'I-214' y 3,8 % para el de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. Ello es coherente con la baja higroscopicidad que presenta la mayoría de los carbones vegetales (menor contenido de humedad, respecto de la madera).

La **proporción de cenizas** en el carbón se ubicó en 2,23 % para *Populus x euramericana* 'I-214' y 4,3 % para *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. Estos valores coinciden con los reportados por la literatura para el carbón vegetal de madera, el cual suele variar entre 0,5 % y 5 %, dependiendo de la especie, la presencia o ausencia de corteza, el nivel de contaminación inicial de la madera, entre otros (FAO, 1983).

La **fracción volátil** hallada fue de 55,99 % y 60,23 % para *Populus x euramericana* 'I-214' y *Populus deltoides* 'Australiano 129/60', respectivamente. Este parámetro resultó sensiblemente mayor al esperado, ya que sería deseable obtener carbones con contenido de volátiles entre un 20 y un 30 %.



Ello pudo deberse a cuestiones metodológicas según el protocolo seguido para la determinación de esta propiedad. La proporción de volátiles es afectada por los parámetros del proceso de carbonización, principalmente su duración y la temperatura alcanzada (Castro et al., 2016). Carbones vegetales con alto contenido de volátiles producen mayor nivel de humo, y poseen menor eficiencia energética, por lo cual deberá ajustarse el protocolo de determinación de esta variable. De cualquier forma, el hecho de que los resultados fueron obtenidos siguiendo el mismo protocolo, permitiría la comparación entre ambos materiales.

El **poder calorífico** de ambos carbones se situó en valores de 6.936 kcal/kg para *Populus x euramericana* 'I-214' y 6.646 kcal/kg para *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. A partir del proceso de pirólisis, el material ve incrementado su contenido relativo de carbono con respecto a la madera de origen, ya que permanecen los componentes más resistentes. Los valores hallados resultan acordes según lo reportado por la literatura científica para distintos carbones de maderas cultivadas (Yatim y Hoi, 1987).

El **porcentaje de carbono fijo**, calculado en base a los valores de contenido de volátiles y cenizas del carbón, resultó en 37,81 % para *Populus x euramericana* 'I-214' y 31,67 % para *Populus deltoides* 'Australiano 129/60'. Debido a la metodología seguida para la estimación de esta característica, estos resultados se aprecian bajos, ya que se ven determinados por el alto contenido de volátiles registrados por los carbones de ambos materiales.

Cuadro 1. Características dendroenergéticas de la madera y el carbón de dos clones de álamo

	Rendimiento de la Carbonización (%)	Contenido de Humedad Eq (%)	Contenido de Cenizas (%)	Contenido de Volátiles (%)	Carbono fijado (%)	Poder calorífico (kcal/kg)
Madera de <i>Populus x euramericana</i> 'I-214'	21,81	10,37	0,91			4.420
Carbón de <i>Populus x euramericana</i> 'I-214'		3,97	2,23	55,99	37,81	6.936
Madera de <i>Populus deltoides</i> 'Australiano 129/60'	23,51	10,87	1,57			4.175
Carbón de <i>Populus deltoides</i> 'Australiano 129/60'		3,8	4,3	60,23	31,67	6.646

En función de los valores hallados para las principales variables dendroenergéticas de la madera y el carbón de ambos clones, en principio podríamos concluir que, si bien ambos materiales presentan características aceptables para ser utilizados con fines energéticos, el clon *Populus x euramericana* 'I-214' demuestra un comportamiento superior, al poseer un mayor poder calorífico, menor contenido de cenizas, y una menor proporción relativa de la fracción volátil.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo analiza las propiedades dendroenergéticas de dos clones comerciales de *Populus* sp. Tanto *Populus x euramericana* 'I-214' como *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' demostraron buena aptitud para ser utilizados con fines energéticos, ya sea como madera o como el residuo sólido del proceso de pirólisis, es decir, el carbón vegetal, manifestando el primero mejor performance en relación al poder calorífico, contenido de cenizas y proporción relativa de volátiles.

Ambos materiales arrojaron valores favorables en relación a su contenido de humedad, cenizas y poder calorífico. Sin embargo, el contenido de volátiles resultó mayor de lo esperado, posiblemente atribuible al protocolo de laboratorio utilizado, afectando así el porcentaje de carbono fijado. Por ello, será necesario continuar con los análisis en laboratorio, empleando diferentes protocolos de carbonización y, especialmente, de determinación de volátiles, a fin de corroborar los valores obtenidos para estas características, las cuales resultan de gran importancia para establecer el potencial dendroenergético para su uso doméstico e industrial.



Estos primeros resultados resultan promisorios para considerar la utilización de los residuos leñosos de dos clones de importancia pertenecientes a dos de las zonas de cultivo de Salicáceas más desarrolladas en el país (Delta y NorPatagonia), ya sea como biocombustible directamente o como insumo para algún otro proceso que permita su reutilización y revalorización.

5. LITERATURA CITADA

- BORODOWSKI, E. 2017. Situación actual del cultivo y uso de las Salicáceas en Argentina. Jornadas de Salicáceas 2017-V Congreso Internacional de Salicáceas. 20 pp.
- CARDOZO, F. 2016. Determinación de la densidad y el poder calorífico superior de la poda de especies leñosas del arbolado urbano de Pueblo Esther (Santa Fe), en busca de la sustentabilidad ambiental. Informe Técnico de INTA Santa Fe. 17 pp. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.densidad-poder-calorifico-podas.07-18.pdf>
- CASTRO, A.F.N.M., CASTRO, R.V.O., CARNEIRO, A.C.O., DOS SANTOS, R.C., CARVALHO, A.M.M.L., TRUGILHO, P.F., DE MELO, I.C.N.A. 2016. Correlations between age, wood quality and charcoal quality of Eucalyptus clones. *Revista Árvore*, 40 (3): 551-560. DOI: 10.1590/0100-67622016000300019
- FAO. 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio FAO: Montes 41. ISBN 92-5-. 301328-1. 153 pp. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x5328s/x5328s00.htm>
- FAO. 2020. Introducción a la dendroenergía. Colección Documentos Técnicos N.º 21. Buenos Aires. <https://doi.org/10.4060/cb0619es>. 74 pp.
- GARCÍA VALLEJO, MC; CADAHÍA FERNÁNDEZ, E; FERNÁNDEZ DE SIMON, B. 2001. Características químicas de la madera de chopo. I Simposio del Chopo. Junta de Castilla y León - COSE - Inst. Nacional de Investigaciones Agrarias. Zamora. España. 8 pp.
- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación). 2021. Dirección de Desarrollo Foresto Industrial. Inventarios Forestales. Tablero de Plantaciones Forestales. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>
- MARCOS MARTÍN, F; GARCÍA DÍAZ, R; GARCÍA ROBREDO, F; GODINO GARCÍA, M; RELOVA DELGADO, I; VILLEGAS ORTIZ DE LA TORRE, S. 2004. Caracterización energética de la biomasa de chopo (*Populus x euramericana* 'I-214'). IV Congreso Forestal Español. 6 pp. Disponible en: http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16541/16384
- SPAVENTO, E. 2015. Caracterización y mejora tecnológica de *Populus x euramericana* I-214, austral y boreal, con fines estructurales. Tesis doctoral. 380 pp.
- SPAVENTO, E.; KEIL, G.; MURACE, M.; TARABORELLI, C.; DE TROYA MT.; ACUÑA, L. 2017. Termotratamiento en madera de álamo como alternativa de mejora de su resistencia al biodeterioro. Jornadas de Salicáceas 2017-V Congreso Internacional de Salicáceas. 8 pp.
- THOMAS, E.; A. GARCÉS. 2011. Crecimiento inicial de 13 clones de álamo en el Valle Medio del río Negro. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Comunicación. 5 pp.
- YATIM, BB; HOI, WK. 1987. The quality of charcoal from various types of wood. *Fuel*, Volume 66, Issue 9, pp. 1305-1306, ISSN 0016-2361, [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(87\)90071-8](https://doi.org/10.1016/0016-2361(87)90071-8).



AFLUENCIA DE HONGOS DE LOS GENEROS *Ganoderma* y *Trametes* EN MADERAS EN USO, ELDORADO, MISIONES, ARGENTINA*

Elisa A. BOBADILLA¹, Elizabeth M. WEBER¹, Iris FIGUEREDO², Obdulio PEREYRA¹,
Ricardo C. BARTH¹, Teresa M. SUIREZS¹

RESUMEN

Los hongos han sido descritos en su hábitat natural, encontrándose que los hongos *Basidiomycetes* son los más abundantes en las formaciones boscosas de la región. El objetivo de este trabajo fue la determinación de la diversidad de hongos, que aparecen en las maderas utilizadas en construcciones rurales, como postes eléctricos, galpones de almacenamiento, en distintos grados de exposición. El desarrollo del trabajo fue realizado en una zona concreta de la localidad de Eldorado, Misiones, ubicada a 26° 25' S, 54° 37' O, a 149 m sobre el nivel del mar, en la zona oeste, específicamente en el Parque Adolfo Julio Schwelm. El procedimiento consistió en ubicar espacialmente las muestras, tomándose registro de las condiciones en las cuales se desarrolló el ejemplar, si se encontraba expuesto a la intemperie, debajo de algún árbol, bajo techo, etc. Las maderas donde se desarrollaron los ejemplares colectados fueron identificadas como eucalipto (*Eucalyptus* sp.) y pino (*Pinus* sp.), con tratamiento de pintura o barnizado. Las muestras fueron llevadas a laboratorio, para cultivo y posterior aislamiento; se cultivaron en cajas de Petri conteniendo medio de cultivo de Nobles. Se logró identificar en la mayoría de las muestras la presencia de hongos del género *Ganoderma* y en menor proporción de ellas, asociación con hongos del género *Trametes*.

Palabras clave: *putrición de la madera, agentes xilófagos, Basidiomycetes*

1. INTRODUCCIÓN

Los hongos nativos han sido descritos e identificados en la zona centro de la provincia de Misiones con el propósito de estudiar el tipo de enzimas producidas por estos organismos y factibles de ser aplicados en procesos biotecnológicos (Villalba, 2012). Los hongos han sido descritos en su hábitat natural, encontrándose que los hongos *Basidiomycetes* son los más abundantes en las formaciones boscosas de esa región (Bobadilla, 2014).

Los hongos del género *Ganoderma* se caracterizan por ser saprofitos y su micelio vive y se nutre de la madera muerta de árboles. Los carpóforos aparecen en la base de sus troncos, a través de alguna herida o grieta en la corteza, o en tocones muertos (Blanco, 2019).

Los hongos del género *Trametes* crecen en troncos de árboles en descomposición, como también sobre árboles vivos, en cualquier época del año. Pertenecen a un género de hongos cosmopolitas presente prácticamente en todos los ecosistemas forestales, tanto de áreas tropicales como templadas e incluso boreales (Lira Gomez, 2019).

Por otro lado, la presencia de hongos en maderas en uso han sido estudiados por distintos autores para definir a grandes rasgos las características de la durabilidad natural de la madera nativa y también de exóticas como pinos, eucaliptos, paraíso, entre otras (Bobadilla et al., 2010, 2013a, 2013b, Weber et al., 2013, Suirezs et al., 2013), ante cualquier organismo que afecte la estabilidad de la madera en uso. Bobadilla et al. (2003, 2015), hace un estudio más específico focalizándose en la influencia de 3 especies de hongos (identificados como los más frecuentes en esta región) sobre la durabilidad natural

*Este trabajo fue en Poster a SAM CONAMET 2022, no publicado

¹ Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Materiales de Misiones, CONICET, Calle Bertoni 124, Eldorado, Misiones, Argentina

² INTA Montecarlo, Misiones, Argentina



de la madera (es decir sin tratamiento alguno de preservantes). Los autores concluyen que para las 5 maderas ensayadas el hongo *Pycnoporus sanguineus* fue el más agresivo en pruebas de laboratorio. Weber et al. (2013) presentan los resultados parciales de ensayos realizados a la intemperie encontrando que el ataque de los hongos en la madera en contacto directo con el suelo destruye la estabilidad de la misma en un tiempo promedio de 6 meses.

El objetivo de este trabajo fue la determinación de la diversidad de hongos que aparecen en maderas utilizadas en construcciones rurales, como postes eléctricos, galpones de almacenamiento, en distintos grados de exposición.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización de los hongos, se recolectaron muestras en una zona específica de la localidad de Eldorado, Misiones, el parque Julio Adolfo Schwelmn, zona Oeste, ubicada a 26° 25' S, 54° 37' O, a 149 m sobre el nivel del mar. Como estrategia de trabajo se propuso la organización de un sistema de observación y recolección de muestras a campo, basado en el protocolo del Instituto de Botánica del Nordeste, Corrientes (Romano et al., 2020). El procedimiento consistió en ubicar espacialmente, al detectar un ejemplar, en qué condiciones se desarrolló, si estaba expuesto a la intemperie, debajo de algún árbol, bajo techo, etc. Además, se registraron las prestaciones que cumplían las unidades de muestra utilizadas (clavador, tirantería contigua, columna, banco, cerco, pared) (Figuras 1 y 2). Las maderas identificadas en el laboratorio de Tecnología de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.Na.M. se corresponden con eucalipto (*Eucalyptus* sp.) y pino (*Pinus* sp.), con tratamiento de pintura o barnizado. Las muestras fueron llevadas a laboratorio, para cultivo y posterior aislamiento; se cultivaron en cajas de Petri conteniendo medio de cultivo de Nobles (Bobadilla, 2014) (Figura 3).

De las maderas en uso se tomaron las siguientes muestras: tres muestras de los clavadores del techo del quincho, seis muestras de dos columnas, seis muestras de la casa arqueológica y seis muestras de barandas y banquetas de la costanera. Se procedió a identificar a través de las características morfológicas, como ser crecimiento de la colonia y las estructuras de las hifas siguiendo la lista de Nobles (Nobles 1943, 1964) (Figura 4).



Figura 1. Muestra del quincho del Parque Schwelmn



Figura 2. Extracción de muestra



Figura 3. Cultivo en cajas de Petri

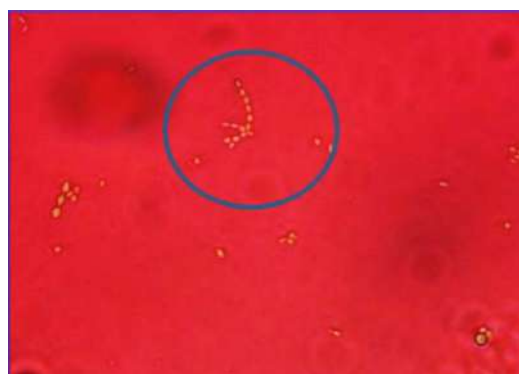


Figura 4. Estructura utilizada para la identificación



3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se debe resaltar que en todas las muestras tomadas, se observaron en la superficie evidentes signos de deterioro por intemperismos y con aparente presencia de hongos cromógenos. Los resultados obtenidos, independientemente de la madera analizada y de los tratamientos superficiales, se identificaron el género *Ganoderma* y en una proporción menor de las muestras asociaciones de hongos *Ganoderma* y *Trametes*.

5. LITERATURA CITADA

- BLANCO, L. (19 de julio de 2019). *Ganoderma*: características, hábitat, usos y especies. Lifeder. Recuperado: <https://www.lifeder.com/ganoderma/>
- BOBADILLA, E. A.; SUIREZS, T. M.; ARGÜELLES Y ANDRÉS, T.; WEBER, E. M. 2010. Resistencia Natural de la Madera de *Pawlonia* Sp. Al Ataque De Tres Especies De Hongos Xilófagos. 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo, INTA. ACTAS EN CD ISSN16685385 y Resumen impreso
- BOBADILLA, E. A.; SUIREZS, T. M.; WEBER, E. M.; CALLABA, R. 2013B. Resistencia natural de la madera de *Melia azedarach* al ataque de PLEUROTUS SAJOR-CAJU Y GLOEPHYLUM. 4to. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano Iguazú. 2013. ISSN 1669-6786. DVD.
- BOBADILLA, E.A.; SUIREZS, T. E. 2013a. Simposio Internacional Sobre Materiales Lignocelulosicos. Grado de Durabilidad Natural y Adquirida de La Madera de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* x *Pinus caribea* Var. *Hondurensis* ante la Acción de Hongos Xilófagos. 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo, INTA. ACTAS EN CD ISSN16685385.
- BOBADILLA, E.A. 2014. Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción. Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones como exigencia parcial de la Maestría en Tecnología de Madera, Celulosa y Papel.
- LIRA GÓMEZ, C. F. (24 de agosto de 2019). *Trametes versicolor*: características, reproducción, propiedades. Lifeder. Recuperado: <https://www.lifeder.com/trametes-versicolor/>
- NOBLES, M. 1943. A contribution toward a clarification of the Trametes serialis complex. Canadian Journal of Research
- NOBLES, M. 1964. Identification of cultures of wood-inhabiting Hymenomyces Research Institute, Canada Department of Agriculture, Ottawa, Canada
- ROMANO, G.M.; GRASSI, E.; MAJUL, L. M.; GARCÍA, R. A.; KUJAR, J. F. 2020. Guía ilustrada de recolección de hongos. Fundación Hongos de Argentina para la Sustentabilidad.
- SUIREZS T., ARENHARDT O., STEHR A., BOBADILLA E., WEBER E., BRAGAÑOLO A. 2013. Durabilidad natural y pesos específicos aparentes del *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. (cedro rosado) cultivado en la provincia de misiones. 20 y 21 de junio, Iguazú, Argentina.
- VILLALBA, L. 2012. Aplicaciones biotecnológicas de enzimas de hongos nativos. Entrevista con Dr. D. Schennone. Revista Biodiversidad, Año 2, nº 5:2-4.
- WEBER ELIZABETH M.; BOBADILLA ELISA A.; CALLABA RICARDO E.; SUIREZS TERESA M.; BARTH, RICARDO C. 2013. Evaluación del deterioro luego de dos inspecciones de tres especies de madera a la intemperie. 4to. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano Iguazú. 2013. ISSN 1669-6786. DVD.



FABRICACIÓN DE TABLEROS ALISTONADOS *FINGER JOINT*: UNA ALTERNATIVA PARA EL AGREGADO DE VALOR Y EL FORTALECIMIENTO DE LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR FORESTO INDUSTRIAL DE LA PROVINCIA DE CHACO

María Noelia ORDENAVIA¹, Lucas Sebastián VERA², Jesús Salvador ESPINDOLA³,
Leandro Augusto ROMERO¹, Constanza Josefina GARNICA⁴, Gina Fiorella PESCAROLO¹,
Marianela Karina PÉREZ⁴

RESUMEN

El Gobierno de la provincia de Chaco lleva adelante Políticas Públicas tendientes a incentivar el manejo sostenible, la conservación de los bosques nativos y el desarrollo de la foresto industria. Durante el año 2022 se inauguró, en la ciudad de Machagai (polo productivo del mueble de la provincia), una planta de fabricación de tableros alistonados *finger joint* y un secadero industrial, ubicados en el Centro de Desarrollo Tecnológico de la Industria de la Madera (CEDETEMA). La producción de tableros, fabricados a partir de madera seca de especies nativas, pretende descomprimir la presión que existe sobre el algarrobo (*Prosopis alba* Griseb) a partir de la puesta en valor de otras especies nativas, diversificando significativamente el abanico de especies a utilizar. Este trabajo busca exponer el beneficio de ofrecer una alternativa de mayor valor agregado para el sector de la foresto industria chaqueña, promoviendo la reconversión tecnológica de la producción tradicional de muebles (con un alto desperdicio del recurso forestal), a la fabricación de muebles mediante la producción en serie de piezas parte de tableros alistonados. El rendimiento promedio actual del aserrado en la provincia es del 36 % (Censo Nacional de Aserraderos), este valor podría elevarse incorporando mecanismos técnicos y tecnológicos.

Palabras clave: *industria forestal, Región Chaqueña, sustentabilidad*

1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno de la provincia de Chaco, a través de la Dirección de Bosques y la Dirección de Certificación y Competitividad (dependientes de la Subsecretaría de Desarrollo Forestal), lleva adelante Políticas Públicas provinciales tendientes a incentivar el manejo sostenible y la conservación de los bosques nativos, a través de la mejora continua en los estándares de implementación de la Ley Nacional 26331 (y en este marco de la ejecución del Fondo Nacional de Bosques Nativos) y Ley provincial 1762-R; como así también el desarrollo sostenible y sustentable de la industria forestal.

La provincia de Chaco cuenta con una importante superficie de bosques nativos (principal fuente de materia prima para el desarrollo de la industria forestal provincial), que se extiende por 4,6 millones de hectáreas, ubicando a la misma como la tercer provincia con mayor superficie, representando el 9 % del monte nativo existente en el país, e integrando junto a Salta (16 %), Santiago del Estero (13 %), y Formosa (8 %) la región Parque Chaqueño, donde se concentra el 49 % de la superficie boscosa nativa de Argentina (Sistema Integrado de Información Ambiental, 2019). Según el OTBN provincial, existen en la actualidad 2 904 599 ha en categoría de conservación II (amarillo) y 1 319 893 ha en categoría de conservación III (verde), es decir, son aprovechables en el marco de los estándares ambientales exigidos por la Ley Provincial 1762-R, y podrán ser procesados por la foresto industria provincial

¹Fundación Centro de Desarrollo Tecnológico de la Madera (CeDeTeMa)

²Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (MAGyP)

³Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)

⁴Dirección de Certificación y Competitividad - Subsecretaría de Desarrollo Forestal



(información suministrada por la Subsecretaría de Desarrollo Forestal del Ministerio de Producción, Industria y Empleo del Gobierno de la Provincia del Chaco).

En este contexto, el Centro de Desarrollo Tecnológico de la Industria de la Madera (CEDETEMA), juega un rol fundamental como herramienta del Estado provincial, a través del Ministerio de Producción, Industria y Empleo, para impulsar las políticas públicas en mejoras de la competitividad del sector del mueble y afines. Estratégicamente se encuentra ubicado en la localidad de Machagai (ciudad cabecera del Departamento 25 de Mayo), el corazón del polo productivo de la industria forestal. El departamento 25 de Mayo concentra el 47 % de los aserraderos de la provincia. Existen aserraderos y carpinterías abocadas fundamentalmente a la producción de muebles y artesanías con madera de especies nativas en Machagai, aberturas en Quitilipi (Departamento Quitilipi) y productos varios (con cierta preponderancia de la producción de infraestructura agropecuaria: bretes, mangas, etc.) en Presidencia de la Plaza (Departamento Presidencia de la Plaza), que abastecen la demanda regional y nacional. En estos departamentos se produce el mayor volumen de productos de remanufactura de valor agregado alto (aberturas, carpintería rural y muebles) correspondiente a un 38,6 % de la producción total de la provincia, según la información proporcionada por el Censo Nacional de Aserraderos 2015 (Ministerio de Agroindustria, 2019). Actualmente, esta industria se caracteriza por la utilización casi exclusivamente de madera de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb) en la producción. Esto se debe a los bajos niveles de humedad de la madera que admiten incorporarla al proceso productivo en verde, sin necesidad de secado industrial o secado natural, lo que se traduce en bajos niveles de industrialización de otras especies nativas (que si requieren del proceso de secado) y en una presión excesiva para la utilización del algarrobo.

Durante el año 2022 se inauguró, en CEDETEMA, una planta de fabricación de tableros alistonados *finger joint* y un secadero industrial. Mediante el servicio de secado de madera y la fabricación de tableros al sector industrial chaqueño se pretende diversificar el uso de otras especies como el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), timbó (*Enterolobium contortisiliquum*), guayaibí (*Cordia americana*), mora (*Maclura tictoria*), vinal (*Prosopis ruscifolia*), chañar (*Geoffroea decorticans*), palo lanza (*Phyllostylon rhamnoides*), tatané (*Chloroleucon tenuiflorum*), guayacán (*Caesalpinia paraguariensis*), lapacho (*Handroanthus impetiginosus*), itín (*Prosopis kuntzei*), palo santo (*Bursera graveolens*), entre otras. El funcionamiento del secadero permitirá descomprimir la presión que existe sobre el algarrobo a partir de la puesta en valor de muchas otras especies de nuestros bosques nativos; mientras que la fabricación de tableros alistonados permitirá reintroducir al proceso productivo gran cantidad de madera que, en el marco de los procesos de la industria del mueble tradicional, son descartados. A su vez, los descartes mínimos que genera la fábrica de tablero, constituye un insumo para la propia caldera del secadero. La introducción de innovación tecnológica aplicada a la mejora de los procesos productivos, tanto desde el punto de vista de la eficiencia de los procesos, como de la optimización de la utilización de la materia prima, aborda la promoción de la reconversión productiva y las mejoras en la competitividad de la industria forestal, en concordancia con el objetivo último de Política Pública: “el desarrollo forestal sustentable y sostenible”.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Ofrecer una alternativa de mayor valor agregado para el sector de la foresto industria chaqueña, a través de la reconversión tecnológica de la producción tradicional de muebles (actualmente utilización de tablas de madera maciza, con un alto desperdicio del recurso forestal), a la fabricación de muebles mediante la producción en serie de piezas parte de tableros *finger joint*.

Objetivos específicos

- Diversificar la utilización de especies nativas de la provincia de Chaco, a partir del proceso de secado industrial, disminuyendo la presión sobre la utilización del algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb).



- Mejorar la eficiencia productiva a través de un mejor aprovechamiento del recurso, a partir de la utilización de descartes de la industria actual del mueble.
- Aumentar el porcentaje de rendimiento del aserrado a partir de la elaboración de tablas de menores dimensiones para la fabricación de tableros alistonados.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cadena Forestal del Chaco es uno de los eslabones estratégicos de gran importancia en el entramado productivo provincial, tanto en términos del nivel de actividad como en la generación de ingresos (medidos como % de participación en el PBG provincial), de empleo genuino en todo el territorio provincial y por la generación de divisas provenientes de la comercialización internacional de los productos del sector. En términos de su participación en la producción provincial, representó en 2021, el 21 % del sector productor de bienes transables (constituidos por la rama de la Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura y la Industria Manufacturera). En particular, el sector primario forestal aportó el 10 % del sector primario provincial y la foresto- industria el 45 % de la industria manufacturera (Fuente de datos: IPECD, SICMA). En el año 2021 el sector forestal (primario e industrial) generó alrededor del 9444 puestos de trabajo formales directos e indirectos; constituido por 2186 puestos de trabajo promedio registrados en los Convenio de Corresponsabilidad Gremial Forestal Primario e Industrial, 1050 puestos de trabajo registrados en la Federación Argentina de Trabajadores de la Industria del Tanino y Afines (FATITA) y 6208 transportistas registrados en el Sistema de Custodia de la Madera (SICMA) trasladando productos forestales, provenientes de permisos forestales y/o establecimientos forestales habilitados. Estos puestos de trabajo representan el 18 % del empleo formal privado registrado en los sectores primario, industrial y de servicios (Información suministrada por Oficina de Relevamiento de Datos e Información del Ministerio de Producción, Industria y Empleo, Gobierno de la Provincia de Chaco).

Configuración de la Cadena Forestal en la provincia del Chaco

Sector primario: esta cadena comienza con la extracción de madera del bosque nativo, actividad regulada por la Ley Nacional de Bosques N° 26331 y la ley provincial N° 1762- R. En esta etapa se extrae el recurso maderable, al que luego se transforma y agrega valor dentro del territorio provincial.

Sector manufacturero: la foresto-industria chaqueña se caracteriza principalmente por el aprovechamiento y agregado de valor de la madera proveniente del bosque nativo, liderando con el 68% los productos forestales primarios (rollizos, leña como tal, postes y otros productos) a partir de especies nativas, constituyéndose como la principal provincia productora a nivel nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). En particular, la actividad manufacturera comprende la industrialización de la madera nativa a través de procesos mecánicos o termoquímicos. Entre los procesos mecánicos se reúnen la actividad de los aserraderos, la producción de muebles y aberturas, de pisos y parquet y de materiales utilizados en la construcción. Por otro lado, los procesos termoquímicos incluyen a la producción de tanino, furfural y carbón (carbón vegetal, briquetas y carbón activado) (Delovo et al., 2016). La producción de tanino y furfural se desarrolla en base al extracto de quebracho colorado. La producción de carbón incluye el proceso de carbonización de ambas especies de quebracho y otras especies blancas con alto poder calorífico. El polo productivo de esta industria se concentra en la zona centro de la provincia del Chaco (a la vera de la Ruta Nacional N° 16), desde Presidencia de la Plaza hasta Presidencia Roque Sáenz Peña, siendo Machagai el epicentro de la industria (concentra la mayor cantidad de establecimientos industriales registrados). La provincia, a través de la ley provincial N° 7887, establece la prohibición de salida del territorio de madera nativa que no haya atravesado un proceso de industrialización que incremente su valor agregado.

Principales problemáticas de la Cadena Forestal provincial relacionada al sector muebles y afines

En el inicio de la cadena, la escasez de materia prima (algarrobo) y su lejanía representa un cuello de botella para el desarrollo de la industria. Actualmente, la misma se extrae de la región impenetrable, a unos 400 km del polo industrial, aumentando el costo de la madera y dificultando su adquisición



(camino de tierra que se vuelven intransitables en temporadas de lluvias); además, la configuración espacial de la cadena determinada por escasos establecimientos de transformación en origen, escasa diversificación de las especies maderables utilizadas, bajos niveles de reforestación y plantaciones forestales de especies nativas condicionan el desarrollo sostenible y sustentable de la cadena. Dentro del proceso de industrialización, la falta de competitividad del sector a causa de la ineficiencia en términos del aprovechamiento del recurso forestal y la alta tasa de desperdicios generados, la utilización de madera sin secar que limita el uso de varias especies, la persistencia de la producción tradicional de muebles macizos, la baja inversión tecnológica que no permite la utilización de madera de diferentes dimensiones, dificultando la variación y adopción de diseños de muebles más eficientes, la informalidad laboral; las deficientes medidas de seguridad e higiene del ambiente laboral y como consecuencia una alta ocurrencia de accidentes laborales. En la etapa final de la cadena, una inserción deficiente de los muebles en el mercado, la falta de canales de comercialización y la existencia de intermediarios de la cadena que demandan la producción de muebles tradicionales (macizos) sin terminaciones, pagando precios muy bajos.

Rendimiento del aserrado

Según la información obtenida del Censo Nacional de Aserraderos 2015, se identificaron 291 aserraderos, que consumen unos 257 960 m³ de madera en rollo, proveniente en un 99 % de bosques nativos, para producir unos 91 933 m³ de productos aserrados y remanufactura (Ministerio de Agroindustria, 2018). El algarrobo y los quebrachos son las especies más utilizadas, con predominancia de consumo de algarrobo en el sur de la provincia. La mayor capacidad instalada (capacidad teórica de producción anual de aserraderos, máxima cantidad de madera aserrada que se podría producir en condiciones óptimas de disponibilidad de madera y con demanda suficiente, trabajando un turno de ocho horas) en la provincia se encuentra en el Departamento 25 de Mayo, con un volumen de producción de 52 547 m³, la cantidad de aserraderos es 137, la producción real es de 29 945 m³ y el rendimiento del aserrado del 36 %; en este departamento se encuentra emplazada la fábrica de tableros alistonados recientemente inaugurada. Estudios realizados por diferentes autores en la zona, reportan los siguientes valores de rendimientos de aserrado; cabe aclarar que corresponden al rendimiento del aserrado para la fabricación de muebles y afines con madera maciza de algarrobo, debido a la escasa o nula información referida a la fabricación de tableros alistonados en la Región Chaqueña.

Según Cuadra (2008), en la provincia de Chaco, el rendimiento de la madera de algarrobo es variable según la tecnología utilizada, el tipo de productos elaborados, el grosor, la rectitud y la sanidad de los rollizos, y puede variar entre un 20 y un 60 %, destacando que en la actualidad los rendimientos no superan el 30 %.

Según Renolfi et al. (2012), en Santiago del Estero, el rendimiento promedio de madera aserrada de algarrobo blanco es del 58,3 %. En este estudio se concluyó que los costos del aserrado están asociados a los rendimientos en una relación exponencial inversa, donde la función obtenida explica que el 95 % de la disminución en los costos se debe al aumento en los rendimientos. Los autores proponen pensar en alternativas de uso de alto valor agregado para los residuos de una materia prima tan valiosa, considerando que el 41,7 % de la madera en bruto no se transforma, y la incidencia de aquella en el costo es la más alta.

Según Bejarano (2016), mecanismos técnicos y tecnológicos pueden mejorar la gestión de los bosques y el rendimiento de los procesos, logrando el aprovechamiento de hasta un 90 % del volumen maderable en árboles abatidos e incrementar el rendimiento del aserrado en hasta un 51 % del volumen ingresado. Las interacciones entre los productores y los centros de servicios pueden promover la sostenibilidad de la actividad forestal en términos ecológicos y económicos agregando valor a su producción en la cadena.

Benasayag et al. (2011) señala que es indispensable desarrollar políticas de reconversión tecnológica y de reforestación apropiada a las necesidades de la provincia para preservar el algarrobo y poder aprovecharlo en toda su dimensión. Un cambio tecnológico y el desarrollo de secaderos permitirán el uso de otras especies distintas al algarrobo.



Producción de tableros alistonados *finger joint*

Para que la industria forestal de la provincia pueda seguir utilizando madera nativa como principal insumo de producción es necesario hacer un uso eficiente de la misma, esto se logra mediante la incorporación de madera seca y tableros *finger joint*. De esta manera, no solo se logra mayor valor agregado, sino que además, se reduce al máximo el desperdicio de la industria. La utilización de tableros en la producción de muebles permite reducir los desperdicios mediante la optimización del corte de las piezas parte de tablero. Permite la producción de muebles en serie facilitando el proceso de armado y terminación; teniendo como resultado un mueble más liviano, fácil de transportar, con diseño.

4. CONCLUSIÓN

La industria de tableros alistonados *finger joint* de especies nativas en la provincia de Chaco en particular, y en la Región Chaqueña en general, no posee datos ni experiencias de estudio formales que puedan servir de análisis para este sector; sin embargo, a partir de la instalación de la fábrica de tableros en la ciudad de Machagai, se propone una solución innovadora para optimizar el uso de la madera de especies nativas. Ofrecer tableros alistonados de madera de especies nativas generará un aumento del rendimiento del aserrado, reduciendo los desperdicios y contribuyendo al desarrollo sustentable de la región. Esto promueve la reconversión tecnológica de la industria del mueble y afines, logrando una mayor practicidad y especialización, permitiendo escalar la producción, el acceso a nuevos mercados y mejorar la competitividad del sector.

Se considera fundamental el apoyo de los gobiernos provinciales y locales, así como la colaboración del sector privado para la creación de instancias de articulación beneficiosa para el sector foresto-industrial. Renolfi et al. (2012) destacan la importancia de la permanente búsqueda, en el sector de la industria forestal, para reducir la pérdida de materias primas optimizando su utilización, aumentar la productividad de la mano de obra y la maquinaria y mejorar la calidad de los productos.

5. LITERATURA CITADA

- CUADRA, D. 2008. Actividad industrial maderera en tres ciudades vecinas del norte argentino. Vulnerabilidades sociales y ambientales. Disponible en: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/33.pdf>
- BENASAYAG, E.; ALFONSO, E.; TORRENTE, D. 2011. La industria maderera en la provincia de Chaco como estímulo al desarrollo local: posibilidades y dificultades. Folia Histórica del Nordeste, N° 19.
- CORONEL DE RENOLFI, M.; DIAZ, F.; CARDONA, G.; RUIZ, A. 2012. Tiempos, rendimientos y costos del aserrado de Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina. Revista de Ciencias Forestales – Quebracho Vol.20. Páginas 15-28.
- BEJARANO, M. 2016. Valor agregado y sustentabilidad forestal en el bosque chaqueño, Departamento General Güemes, Chaco. XXX JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS.
- DELOVO, M.; LOPEZ, M.; MIRANDA, G.; NUÑEZ RAYNOLDI, C.; PEGORARO, L.; PEREZ, M.; TOMASELLA, Y. 2016. Explorando las posibilidades de la foresto industria para el desarrollo local de Machagai: aportes al diseño e implementación de políticas para el sector. Escuela de Gobierno de la Provincia de Chaco.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA DE LA NACIÓN. 2018. Censo Nacional de Aserraderos 2015. Informe del relevamiento censal en la provincia de Chaco. Región NOA.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACION AMBIENTAL. 2019. Fuente de datos públicos. Sitio web: <https://ciam.ambiente.gob.ar/>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2021. Anuario de Estadísticas Forestales. Edición 2021.
- SISTEMA DE CUSTODIA DE LA MADERA (SICMA) DE LA PROVINCIA DE CHACO. 2021. Datos pertenecientes al Gobierno de la Provincia de Chaco.
- INSTITUTO PROVINCIAL DE ESTADISTICAS Y CIENCIA DE DATOS. 2021. Fuente de datos públicos. Sitio web: <https://ipecd.chaco.gob.ar/>



ESTADO DEL ARTE DE LA MADUREZ DE LA GESTIÓN EN PYMES DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA

Miguel A. LÓPEZ¹, Mariano M. DI STASI¹, José L. NUCERA¹, Ricardo D. BENITEZ¹

RESUMEN

Las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) forman parte del grupo de organizaciones con mayor incidencia en la economía de la región y del país. En Misiones, la industria de la madera está representada por más de 600 PyMEs, siendo la principal fuente de empleos y volumen de producción. Las PyMEs de la región comparten características organizacionales e historias muy similares. La madurez de los sistemas de gestión representa la evolución de las capacidades de la organización para sobreponerse a los constantes cambios y mantenerse competitivas en el negocio. El objeto de este resumen es presentar un estado del arte sobre la temática, enmarcada en el Proyecto de Investigación “Diagnóstico de la madurez de los procesos de gestión en PyMEs de la industria de la madera en el norte de la provincia de Misiones, Argentina”. La literatura es muy abundante en diferentes industrias y países, y es muy necesaria en la industria de la madera en la zona de estudio, esto permite concluir que dada la importancia de dicha industria en la región y la necesidad de las organizaciones de desarrollar sistemas que contribuyan a la mejora continua, es relevante desarrollar investigación aplicada en el campo de la gestión.

Palabras clave: *administración, calidad, empresas*

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la madera está inmersa en un sector muy dinámico, con dependencia de los mercados nacionales fuertemente asociados a la situación de los factores macroeconómicos. Estos factores juegan un papel fundamental, no sólo en la competitividad sectorial, sino también en la empresarial. Además, a todo esto, se suman características propias de toda la cadena de valor de la madera, la cual se caracteriza por niveles de rentabilidad cambiantes y muy asociados al costo logrado en cada eslabón del proceso. Por estas consideraciones planteadas, la gestión empresarial se vuelve vital para el diseño, el desarrollo, el crecimiento y la supervivencia de las empresas del sector.

A los fines de este trabajo definiremos la gestión como el manejo eficiente de los recursos de una organización para el logro de sus objetivos. Para lograr esto, la gestión se organiza en sistemas donde se constituyen como herramientas relacionadas, ordenadas y consecuentes con la cultura organizacional de cada empresa foresto-industrial. La madurez de los sistemas de gestión representa la evolución de las capacidades de la organización para sobreponerse a los constantes cambios y mantenerse competitivas en el negocio. Un modelo de madurez es un conjunto secuenciado de niveles de madurez y representa un camino o guía para la evolución de los procesos (Becker et al., 2009) además promueve la generación de buenas prácticas tendientes a la mejora continua de la gestión y las operaciones.

Las dimensiones que se utilizarán para el diagnóstico en los modelos de madurez son, la gestión de las personas, la seguridad, medio ambiente, calidad, mantenimiento y gestión de procesos operativos. Estas dimensiones son abordadas de manera diferente por las distintas empresas de la zona, producto en gran medida de la pericia de cada organización que va atendiendo las mismas según su propia maduración.

¹ Ingeniería en Industria de la Madera-Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Nacional de Misiones



El objetivo general del Proyecto de Investigación “Diagnóstico de la madurez de los procesos de gestión en PyMEs de la industria de la madera en el norte de la provincia de Misiones, Argentina”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones, es diagnosticar el grado de madurez en la gestión de las PyMES relacionadas con la industria de la madera. A partir de esto se pretende establecer, en primer lugar, una línea base que permita determinar el estado actual de los sistemas de gestión. En segundo lugar, se pretende determinar líneas de acción para la mejora continua de los procesos y que valide las actividades esenciales a tener en cuenta para el desarrollo de la gestión de excelencia. La primera parte del proyecto es la revisión del estado del arte, y éste es el objeto del presente trabajo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se analiza bibliografía pertinente que permita visualizar la aplicación de metodologías de diagnóstico de madurez de la gestión en las empresas de la región de estudio, por lo tanto éste trabajo corresponde a una revisión bibliográfica sobre la temática que se pretende abordar en el proyecto, con lo cual se analizaron aportes de varios trabajos relacionados en la zona y en el contexto global.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Misiones existen algunos trabajos que podrían asociarse a la temática estudiada, los mismos versan sobre diferentes aspectos relacionados a los sistemas de gestión. El inicio de las organizaciones suele ser entusiasta y con mucha pasión y, luego con el correr del tiempo y del ciclo de vida el foco de las empresas está puesto en la mejora tecnológica tendiente a aumentar la producción, las empresas presentan debilidades en los temas asociados a la madurez de los sistemas de gestión como son la planificación, la gestión de las personas y recursos (Díaz et al., 2015). Por su parte, Tañski et al. (2006) analiza las variables de gestión asociadas a la competitividad empresarial, y enfocan la misma en la gestión de la calidad como elemento central, y la visión en gestión de las personas, dirección y habilidades tecnológicas, asociado a éstos puntos se resalta que las empresas suelen enfocarse en soluciones de problemas a muy corto plazo (Mantulak et al., 2019), aunque se trabaja en mejoras asociadas al control de la producción y el aumento de la eficiencia desde diferentes ópticas. Otro tema interesante abordado es el desarrollo de herramientas de competitividad, asociadas al marketing, el asociativismo y la visión de contexto, en este sentido Díaz et al. (2016), señala que las organizaciones se enfocan fuertemente en los productos y no tanto en la estrategia de mercados, de la misma forma los análisis de posicionamiento y el diseño de herramientas para aprovechar el mismo quedan supeditadas al día a día. Guarrochena de Arjol et al. (2013), propone el concepto de Inteligencia Competitiva como herramienta para el desarrollo de estrategias y mejor posicionamiento de las empresas ante el mercado global y Brondani (2013) menciona que la competitividad de las PyMES madereras también puede estar influenciada por el perfil cooperativo del sector.

La bibliografía analizada, que es importante en la zona de estudio, describe la situación de las PyMES madereras en cuanto a las fortalezas que estas presentan y las características de los obstáculos relacionadas con debilidades actuales en las herramientas de gestión que se convierten o convertirán en amenazas ante un entorno que demanda mayor competitividad. El denominador común de las empresas analizadas es la toma de decisiones para la solución de problemas de corto plazo, por ello en gran medida las mejoras se centran en las operaciones productivas caracterizadas por la mejora en los procesos, en la inversión en maquinaria, la capacitación técnica de operarios, el desarrollo de mejores productos y el control de producción. Esto no es para nada menor, es parte del proceso del ciclo de vida en la gestión de las organizaciones, parte de la madurez de los sistemas, y es el sustento del cual debe sostenerse la evolución de los sistemas de gestión.

Para Tarcaya et al. (2018) las definiciones de sistemas de gestión son variadas, no obstante se puede definir en términos generales como un sistema mediante el cual la empresa administra los objetos del entorno interno y externo (clientes, socios, recursos, equipos, productos, tecnologías, personal) para lograr sus objetivos a largo plazo (Heras et al., 2007; Casadesús et al., 2005). Los aspectos abordados en este proceso se refieren a la calidad, respeto por el medio ambiente, prevención de riesgo laboral, innovación, equidad, costos de procesos, entre otros aspectos con el objeto de lograr la excelencia. La



situación actual determina a las organizaciones a mejorar tanto la gestión de sus actividades como sus resultados con el objeto de alcanzar la excelencia, por su parte las PyMEs enfrentan presiones permanentes para sostener su competitividad. Las empresas de excelencia son aquellas que alcanzan el aprendizaje continuo a partir de metodologías simples, de esta forma recorren su historia de forma sistemática siempre con sentido de la situación actual y con objetivos direccionales claros. No es una tarea sencilla comprender que el camino más corto a la excelencia, es una sucesión de aprendizajes que van creando el clima próspero para el logro de los objetivos consecuentes con las mejores y más eficientes prácticas. Según McCormack et al. (2004) el camino hacia la madurez se produce en etapas a lo largo del ciclo de vida de los procesos. Martínez-Rivera (2018) sugiere herramientas para la evaluación del nivel de madurez de los sistemas de gestión en el camino hacia el éxito sostenido, sin embargo, menciona que esto aún no ha sido asumido de forma consciente por diferentes organizaciones. Hammer (1996), menciona que la madurez está relacionada con la institucionalización de prácticas, estructuras y estándares que actúan sobre toda la organización. Por su parte Harter et al. (2000) sugieren que la evolución en la madurez tiene como efectos, disminución de los tiempos de procesos y del esfuerzo en el desarrollo.

Según Páez et al. (2018), la gestión y mejora de los procesos son centrales en el diseño organizacional y de allí que los niveles de madurez empiecen a tener atención. El concepto de madurez tiene relación con el desempeño organizacional y el cómo la misma alcanza sus objetivos, convirtiéndose luego en un patrón de comportamiento de la organización (Díaz Jaimes et al., 2012). En este sentido, el conocimiento del estado de evolución en que se encuentra el sistema permite conocer cuál debe ser el próximo paso en el camino a una organización de excelencia. Ibbs et al. (2000), sugieren la utilización de modelos de madurez que proporcionen estudios sólidos, para comparar prácticas de gestión y proporcionar herramientas que dispongan la identificación de áreas claves de oportunidades, para Pérez-Melgarejo et al. (2014), la utilización de modelos de madurez en PyMEs, tiene sus inconvenientes por la poca estructura organizacional y los niveles de cualificación del personal, esto sin dudas es parte del desafío del trabajo y el punto central motivacional del proyecto.

En la industria de la madera es posible encontrar organizaciones que, aun utilizando los mismos recursos, las mismas herramientas y, sistemas administrativos similares, obtienen sus resultados muy diferentes, incluso a la misma escala. Esto pareciera demostrar que los factores determinantes están asociados a la cultura organizacional, la planificación estratégica en su definición y seguimiento, y a los aspectos que atraviesan todos los niveles de la organización cuando el sistema alcanza la madurez, como ser el grado de estandarización, el mejoramiento sistemático de los procesos, y la utilización de metodologías para el desarrollo de lo mencionado (Aguirre Mayorga, Córdoba Pinzón 2008).

Cuando se explora bibliografía en el contexto global empieza a encontrarse la vinculación de los modelos de madurez y la mejora de los procesos de negocio de las empresas, además de visualizarse como una necesidad para las PyMEs de cualquier sector. Lo importante en este contexto es decidir cuál sería el modelo adecuado para cada empresa, además de cómo evaluar los mismos. Los modelos más significativos en la bibliografía consultada son los siguientes:

Cuadro 1. Modelos de madurez

NOMBRE	AUTOR
Norma ISO 9004:2009	Organización Internacional de Normalización
CMMI-Integración de modelos de madurez de capacidades	Software Engineering Institute-SEI
BPMM-Modelo de madurez holístico para procesos de negocios	De Bruin & Rosemann
BPMM-OMG-Modelo de madurez de procesos de negocios	Object management Group
EFQM- Modelo de excelencia	Fundación Europea para la Gestión de la Calidad
Modelo de madurez de procesos y empresas	Hammer



Cada uno de ellos se pueden diferenciar por diferentes criterios, sin embargo, para esta revisión toma relevancia su posibilidad de aplicación en las PyMEs. Para ello es importante el grado de diferenciación, la complejidad, y la necesidad de herramientas específicas de cada modelo.

Finalmente es importante destacar que los ejes donde se enfocará el diagnóstico serán los siguientes:

- Planificación estratégica
- Procesos
- Tecnologías
- Personas
- Administración
- Métodos
- Cultura

Los mismos serán los utilizados para la evaluación que permitirá el diagnóstico de las diferentes empresas que componen el sector.

4. CONCLUSIÓN

La gestión de las organizaciones ha sido y será un tema clave y muy cambiante a lo largo de la historia, y depende en gran medida del grado de evolución en el ciclo de vida que tengan las empresas y el sector en su conjunto en un determinado momento histórico en el lugar que se encuentren.

En mercados competitivos, como los actuales la contribución de una empresa se ve altamente condicionada por la efectividad de su organización, y ésta dependerá de cómo se gestiona la misma.

Las empresas pueden ser vistas como organizaciones aprendientes y la capacidad de aprender será altamente condicionada por la capacidad de gestionar su operación. Desarrollar esta capacidad es un delicado camino, el cual es necesario recorrer de manera ordenada para lo cual se necesita contar con información tanto interna como del entorno, que se ordena a través de los Sistemas de Gestión. En el caso de las PyMEs se requiere de más apoyo y tiempo para implementar sistemas de gestión que permitan mejorar sus organizaciones tendiendo a la eficiencia.

La bibliografía consultada es amplia a nivel mundial y podría ser más abundante en la zona y en el sector de la madera específicamente, esto permite plantear la necesidad de avanzar hacia proyectos de investigación aplicada que permitan diagnosticar los sistemas de gestión con el modelo más adecuado al contexto con el fin de diseñar herramientas que puedan contribuir al desarrollo de la gestión en las PyMEs.

5. LITERATURA CITADA

- AGUIRRE MAYORGA, S.; CÓRDOBA PINZÓN, N. 2008. Diagnóstico de la madurez de los procesos en empresas medianas colombianas. Ing. Univ. Bogotá (Colombia), 12 (2): 245-267.
- BECKER, J; KNACKSTEDT, R; PÖPPELBUß, J. 2009. "Developing maturity models for IT management", Business & Information Systems Engineering. Vol. 1 N° 3, pp. 213- 222. 2009.
- BRONDANI, N. 2013. El sistema cooperativo como estrategia de competitividad de las pequeñas y medianas empresas madereras de misiones. Perspectivas para su desarrollo. Revista Forestal YVYRARETA 20; diciembre 2013.
- CASADESÚS, M.; HERAS, I.; MERINO, J. 2005. Calidad práctica. Prentice Hall-Financial Times, Pearson Educación S.A. Madrid.
- DÍAZ, A.; AGUERRE, M. 2015. El espíritu emprendedor en las PYMEs madereras del Norte de Misiones- Argentina. Revista Forestal Yvyrareta 22 (2015) 27-30-31-31.
- DÍAZ, A.; KOWALSKI, S. 2016. La comercialización de pymes madereras localizadas en los departamentos de Eldorado y General San Martín de la provincia Misiones – Argentina. Interfaces Científicas - Humanas E Sociais, 5(2), 9–20.
- DÍAZ JAIMES, M.; ORTÍZ PIMIENTO, N. 2012. Revisión de Modelos de Madurez: Estrategia de Evaluación del Desempeño para Empresas de Manufactura. Revista UIS Ingenierías, 11(1)
- GUARROCHENA DE ARJOL, M.; PAUL, L. M. 2013. Estrategias de gestión de la información asociadas a la



- inteligencia competitiva: apropiación práctica en organizaciones de apoyo a empresas exportadoras. Revista Científica Visión de Futuro. 17, 2 (jun. 2013).
- HAMMER, M. 1996. Beyond reengineering: how the process-centered organization is changing our lives, Harper Business, New York, NY.
- HARTER, D. E.; KRISHNAN, M. S.; SLAUGHTER, S. A. 2000. "Effects of process maturity on quality, cycle time and effort in software product development", Management Science, Vol. 46 No. 4, pp. 451-466.
- HERAS, I.; MERCÉ, B.; CASADESÚS, M. 2007. La integración de sistemas de gestión Basados en estándares internacionales: Resultados de un estudio empírico Realizado en la CAPV. Revista de Dirección y Administración de Empresas. Número 14, diciembre 2007. págs. 155-174.
- IBBS, C. W.; KWAK, Y. H. 2000. Assessing project management maturity, Project Management Journal. Vol. 31 Issue 1, pp. 32-43.
- MANTULAK, M.; MICHALUS, J.; NELLI, S. 2019. Estudio exploratorio con enfoque en la gestión tecnológica e Innovación en aserraderos pymes de Misiones, Argentina. VI°CONLAD-IX° Encuentro Internacional de Administración de la Región Jesuítica Guaraní. Facultad de Ciencias Económicas-UNaM.
- MARTÍNEZ RIVERA, R.; CRESPO REYNOSO, Y.; RODRIGUEZ COTILLA, Z. 2018. Diseño de instrumentos de medición del nivel de madurez del sistema de gestión de calidad en Empresas de Alta Tecnología del sector biofarmacéutico. VacciMonitor, vol. 27, núm. 1, 2018, Enero-Abril, pp. 28-36. Instituto Finlay. Cuba.
- MCCORMACK, K.; LOCKAMY, A. 2004. The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation. Supply Chain Management journal. 9(4):272-278.
- PÁEZ, G.; ROHVEIN, C.; PARAVIE, D.; JAUREGUIBERRY, M. 2018. Revisión de modelos de madurez en la gestión de los procesos de negocios. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 26 N° 4, 2018, pp. 685-698.
- PÉREZ-MELGAREJO, E.; PÉREZ-VERGARA, I.; RODRÍGUEZ-RUÍZ, Y. 2014. Modelos de madurez y su idoneidad para aplicar en pequeñas y medianas empresas. Ingeniería Industrial, 35(2). Aguirre Mayorga et al., 2008
- TAŃSKI, N.; BÁEZ, L.; CLÉRICI, C. 2006. La competitividad de PyMEs forestales. Revista Científica Visión De Futuro, 7(1). Recuperado a partir de <https://revistacientifica.fce.unam.edu.ar/index.php/visiondefuturo/article/view/632>
- TARCAYA, H.; ARENAS, A.; PLAZA, G. 2018. Evolución y tendencias de los sistemas de gestión basados en estándares internacionales. Jornada de Pesquisa - Ciências Sociais Aplicadas. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.



BUSCANDO SOLUCIONES A LA ESCALA DE LOS PROBLEMAS. PROGRAMA PAISAJE PRODUCTIVO PROTEGIDO EN ARAUCO ARGENTINA SA

Romel TORCAT¹, Mario GALEANO¹, Diego ARTERO¹, Mariano DI STASI¹, Javier MAESTROPAOLO¹, Pablo CORTEZ¹, Alejandro D. BROWN², Lucio MALIZIA²³, Sebastián CIRIGNOLI⁴

RESUMEN

El paisaje es un término que ha sido interpretado en múltiples acepciones y desde distintas disciplinas. Hoy, por el hecho de pertenecer a un ámbito transversal, este representa un gran potencial como concepto-puente que establece las bases de una visión interdisciplinaria más amplia del territorio. Por lo tanto, refiriéndose al “paisaje protegido”, una de las categorías de áreas protegidas de la IUCN, se propone un avance en compartir la experiencia del paisaje y aquella de la protección en el contexto actual, donde se reconoce la necesidad de una visión de conjunto para alcanzar soluciones de largo plazo entre la protección de la naturaleza y el uso por las sociedades humanas en un contexto de planificación y zonificación.

Palabras clave: *conjunto, zonificación, planificación, sociedad, monitoreo*

1. INTRODUCCIÓN

La población actual es creciente y eso ha implicado la ocupación de los espacios disponibles. Hoy la especie humana ha completado la expansión horizontal, es decir, “todo el territorio mundial tiene en cierto nivel la huella de la presencia humana” (Brown, 2016). Por lo tanto, la conservación es posible solo implementando nuevas estrategias que incluya a la comunidad humana, reconociendo su rol activo y la experiencia de convivencia con la biodiversidad que se ha dado en muchos lugares. Así en el V Congreso Mundial de Parques en Durban, Sudáfrica (UICN, 2003) se ha apoyado una nueva idea de área protegida que pone el énfasis en el rol central de la comunidad residente, denominada “Paisaje Protegido”.

Esta concepción, aplica una visión de naturaleza y sociedad como un todo, ya que “los paisajes protegidos son paisajes culturales que han coevolucionado con la sociedad humana que los habita, y son el punto de contacto entre diversidad cultural y biológica” (Brown, 2016).

Este nuevo paradigma se diferencia en múltiples aspectos del modelo precedente: “el manejo está enfocado más en los residentes que en los visitantes, integrando la existencia de las áreas protegidas con las necesidades de la población local y el valor cultural de la naturaleza; la percepción local es incluida en la gestión de las áreas protegidas y las áreas protegidas constituyen una red, donde las distintas categorías se integran para una mejor conectividad entre los espacios protegidos” (Brown, 2016).

La idea del paisaje protegido tiene importantes implicancias operativas. Bajo este nuevo paradigma de las áreas protegidas se considera como espacios de conservación no simplemente aquellas áreas donde hay una presencia relevante de biodiversidad, sino que también aquellos territorios donde ha habido una interacción histórica con la comunidad humana como las zonas rurales. Con ello no se entiende simplemente extender las reglas aplicadas a las áreas protegidas a las demás zonas, sino que se reconoce la existencia de un patrimonio natural localizado afuera de las áreas protegidas y se responsabiliza a la comunidad incluyéndola cual actor de cambios (Brown, 2016).

¹ Arauco Argentina S.A. Pto Libertad, Misiones. Email: mr.galeano@arauco.com;

² Fundación ProYungas,

³ Facultad de Ciencias Agrarias UNJu

⁴ Fundación Hábitat & Desarrollo



La Comunidad Europea por ejemplo, ha extendido el manejo de las especies silvestres a todo su hábitat, comprendiendo las zonas rurales y constituyendo una red ecológica de Zonas de Especial Conservación (ZEC). Esta directiva ha definido un listado de hábitats y especies cuya conservación es prioritaria y los Estados miembros han identificado y circunscrito su presencia en el territorio. El punto de partida fue que los paisajes agrícolas y otras zonas intervenidas por el ser humano hayan mantenido durante siglos una presencia importante de biodiversidad, que termina siendo relacionada con un tipo de uso del suelo, por lo tanto, mantener ciertos usos tradicionales de la tierra y la presencia de pequeños asentamientos humanos reviste un papel importante en favorecer el manejo de las especies silvestres.

El concepto Paisajes Productivos Protegidos (PPP) coloca al sector productivo como protagonista de la acción, pasándolo del lugar del “problema” al lugar de la “solución”, cambiando el concepto de producción vs. conservación por el de producción para conservación. La adhesión al programa creado por Fundación ProYungas, tiene como objetivo generar un modelo de gestión del territorio a escala de paisaje que permita integrar la producción con la conservación de la naturaleza y de los servicios ecosistémicos asociados, en un contexto de sustentabilidad ambiental y promoción social.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Arauco Argentina S.A., filial del grupo Arauco, es una empresa forestal que realiza sus operaciones en las provincias de Misiones, Buenos Aires, Entre Ríos y Santa Fe, abarcando una superficie total cercana a las 263 000 hectáreas (233 000 ha en Misiones y 30 000 ha en la zona central del país). Si bien su actividad principal es establecer, manejar y cosechar las plantaciones forestales de pinos, eucaliptus, sauces y álamos con el propósito de producir madera, dentro de su superficie se conservan más de 118 000 ha de bosques nativos y áreas naturales.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas representan las líneas prioritarias a nivel global, mientras que los PPP son la forma de “bajar a tierra” estos objetivos mediante acciones concretas y mensurables.

En este sentido la metodología establecida por el PPP, se basa en Líneas de Acción, como se plantean a continuación:

Línea 1: planificación territorial (requisito de base). Aborda la planificación territorial de toda la superficie del PPP, contemplando las actividades actuales y futuras de producción y el contexto ambiental y social en el que se realizan.

Línea 2: mejora continua del desempeño socio-ambiental. Se centra en los procesos internos de producción y operación, a fin de identificar fases o etapas críticas desde lo ambiental y social que permitan incorporar mejoras en el desempeño de la empresa, en un marco de mejora continua.

Línea 3: seguimiento y evaluación ambiental y social. Establece las distintas variables (indicadores) que serán medidas (monitoreo), relacionadas con los objetivos y las metas establecidas, y con las actividades planificadas para lograr dichas metas.

Línea 4: comunicación interna y externa. Desarrolla acciones de comunicación de la empresa, tanto internas como externas, en relación a la implementación del programa PPP.

Línea 5: alianzas estratégicas con actores territoriales. Incluye las tareas de vinculación institucional y las alianzas desde el PPP con los diferentes actores sociales que conforman el entorno de la empresa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LÍNEA 1: PLANIFICACIÓN TERRITORIAL. La empresa dividió su patrimonio con fines de manejo, en seis distritos administrativos. Se plantea una nueva planificación (Figura 1), mediante la evaluación de atributos socioeconómicos (producción y empleo, relacionamiento con comunidades originarias), normativos (ordenamiento territorial de sus bosques nativos, restauración de ambientes), biogeográficos (relieve y suelos, clima, hidrología) y Áreas de Conservación establecidas por la empresa.

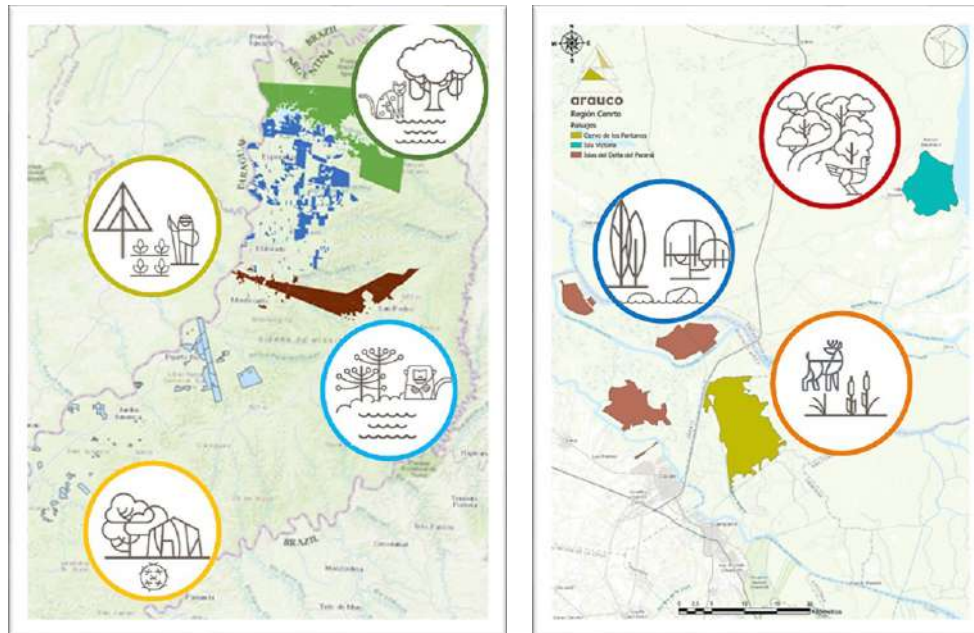


Figura 1. Paisajes propuestos para la empresa Arauco Argentina SA. A la izquierda, Paisajes definido en Región Norte (Misiones). A la derecha, PPP en Región Centro (Buenos Aires y Entre Ríos).

LÍNEA 2: MEJORA CONTINUA DEL DESEMPEÑO SOCIOAMBIENTAL. En el año 2013 Arauco Argentina comienza a implementar un programa de “Monitoreo Integral del Manejo Forestal” que abarca de manera integral, aspectos económicos, sociales y ambientales de las unidades de manejo y su entorno. Este monitoreo incluye entre otros, el monitoreo del plan integral del manejo forestal, certificaciones, gestión social y de conflictos.

LÍNEA 3: SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL. La empresa, desde el área de Gestión Ambiental, viene implementando diferentes procesos de gestión ambiental que implican desde la restauración de bosques (alcanzando las 3 500 ha), a monitoreos de biodiversidad (de ejecución anual) en diferentes usos de suelo, recuperación de cuencas hídricas y gestión de áreas de alto valor de conservación que son manejadas como áreas de reserva, incluyendo la declaración de una Reserva Privada en 2021. Estos estudios se realizan en el marco de diferentes colaboraciones con instituciones gubernamentales, ONG e investigadores independientes, ya sea impulsados por la propia empresa o a partir de colaboraciones. Los avances incluyen investigación de anfibios, aves y mamíferos.

LÍNEA 4: COMUNICACIÓN. Las políticas y procedimientos de los diferentes tipos de comunicación de la empresa están comprendidas en dos documentos de base denominados “Plan de Gestión Social Forestal” (AASA, 2020) y “Procedimiento General de Comunicaciones y Consultas” (AASA, 2021). Finalmente, se creó el Plan de Comunicación Forestal, con la generación de contenido en las áreas naturales y el desarrollo de cortos de las diferentes áreas administrativas de la empresa.

Recientemente se desarrolló una manera novedosa de comunicación para operarios y miembros de la empresa, a través de videos cortos y narrados que abordan las acciones realizadas en temáticas ambientales, con el objetivo que rompa los límites internos y trascienda a otros actores y a la sociedad en general. La comunicación interna permitirá fortalecer la comunicación externa, en conjunto con el área corporativa de Relaciones Institucionales.

Además se refuerza la Comunicación y Consulta previa a Operaciones Forestales, Actividades de Difusión y Extensión, Ciclos de capacitación sobre Trabajo Forestal, Página Web, listas de email, spot publicitarios, publicaciones digitales, medios de prensa, Maratón Solidaria Arauco, Programa Educativo Club Verde, Furgón itinerante “Mundo Forestal”, Programa de Juventud y Sostenibilidad, Programa Visitas a la Reserva Forestal San Jorge y finalmente se promueven las Mesas de Diálogo Forestal y el Visor de Mapas Web del Bosque Atlántico.



LINEA 5: ALIANZAS ESTRATÉGICAS CON ACTORES TERRITORIALES. La creación de espacios de trabajo que involucren a todos los sectores de la sociedad (privados, organizaciones del Estado y organizaciones de la sociedad civil) contribuye a fortalecer y legitimar los esfuerzos realizados en el marco del programa. Se crea el Programa de Vinculación Estratégica aplicada a cada paisaje identificado, según se aprecia en la Figura 2.



Figura 2. Programas propuestos para los Paisajes de Arauco Argentina SA. A la izquierda, programas principales definidos en Región Norte (Misiones). A la derecha, programas principales definidos en Región Centro (Buenos Aires y Entre Ríos).

4. CONCLUSIONES

La Empresa realiza sus operaciones en un amplio territorio dentro de la provincia de Misiones y en una porción más pequeña en la región centro (Delta), en donde los paisajes se caracterizan por presentar altos índices de biodiversidad y servicios ecosistémicos en una matriz productiva. Siendo el PPP un espacio de territorio definido, donde se incluyen áreas bajo producción y áreas silvestres en el cual se implementa un modelo de gestión que contribuye a la integración de ambas, la ubicación estratégica de los predios de AASA brindan una oportunidad única para la implementación de modelos de producción sustentable y a la vez de conservación y fomento de los ecosistemas y culturas locales. Además, la integración de ambos mundos se convierte en la herramienta adecuada para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Las líneas de acción que conforman el PPP contemplarán las fortalezas y las problemáticas socio ambientales existentes, para conducir la gestión del territorio de forma sostenible y en un marco de mejora continua. En este sentido AASA trabaja con dedicación para compatibilizar el desarrollo productivo-económico, con la equidad social y la protección y administración eficiente del ambiente.

Las acciones voluntarias de la empresa para mejorar su gestión socio-ambiental a través de certificaciones, la delimitación de reservas y AAVC, la generación de espacios de diálogo y construcción de acuerdos con las comunidades vecinas y pueblos originarios, sumado a la motorización de las economías locales y de las acciones de mejora de capacidades de las personas asociadas a las actividades forestales y de la sociedad a través de programas de educación ambiental, posicionan a AASA como una empresa ideal para implementar y desarrollar el programa de Paisaje Productivo Protegido en la búsqueda de la mejora continua de sus actividades.

5. LITERATURA CITADA

AASA. 2019. Plan de Manejo Forestal Arauco Argentina SA. 64 pp.



AASA. 2020. Plan de Gestión Social Forestal. Informe interno. 51 pp.

AASA. 2021. Procedimiento General de Comunicaciones y Consultas. Documento interno.

BROWN et al. 2016. Paisajes productivos protegidos: la actividad forestal y la conservación de la biodiversidad. El enfoque de paisaje protegido. Disponible en: <http://c0120043.ferozo.com/wp-content/uploads/2016/09/Paisajes-productivos-y-la-actividad-forestal-el-caso-de-APSA.pdf>

BROWN et al. 2022. Diagnóstico de información relevante para las líneas de trabajo del programa Paisaje Productivo Protegido de la empresa Arauco Argentina. Documento interno.

UICN. 2003. V Congreso Mundial de Áreas Protegidas en Durban, Sudáfrica.



EFFECTO DE LA COSECHA MECANIZADA SOBRE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA PENETRACIÓN EN SUELOS DEL SE BONAERENSE

Víctor MERANI¹, Matilde MUR¹, Luciano LARRIEU¹, Daniel FERRO¹, Esteban PEREIRA¹,
Facundo GUILINO¹, Tatiana CINQUETTI¹, Juan Manuel VAZQUEZ¹, Florencia
BONGIORNO², Guillermo MILLAN³

RESUMEN

La cosecha mecanizada en sistemas forestales genera daños en los suelos que afectan en forma directa la resistencia mecánica a la penetración (RMP) y en forma indirecta la capacidad de crecimiento de las plantas. El presente ensayo evaluó el efecto de un sistema de cosecha mecanizado sobre la RMP en suelos hapludoles del SE bonaerense. Se delimitaron tres tratamientos: huella (H), entre huella (EH) y entre caminos (EC), según el nivel de tránsito de la maquinaria. En los mismos se realizó la medición de RMP en forma transversal al avance a fin de determinar las zonas de mayor valor de RMP. Posteriormente se realizaron mediciones en los diferentes sitios y se generaron curvas comparativas en dos momentos: inmediatamente después de la cosecha y 6 meses después de la misma. Se determinó que la zona H fue la que presentó los mayores valores de RMP inmediatamente después de la cosecha, no obstante todos los tratamientos presentaron valores mayores a 2,0 MPa. Seis meses después de la cosecha, todos los sitios presentaron valores menores, mostrando un efecto de descompactación natural.

Palabras clave: *daños en suelo postcosecha, Eucalyptus globulus, compactación*

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha ocurrido en Argentina un constante y significativo aumento del peso de los vehículos agrícolas y forestales, esto si bien se vuelve necesario para adaptarse a las necesidades operativas de los sistemas productivos, preocupa por las consecuencias a largo plazo sobre la sustentabilidad de los suelos transitados. El abastecimiento de madera desde el lugar de corte hasta las industrias implica que una parte del tránsito deba realizarse dentro de la plantación. El tránsito de tractores y acoplados causa los cambios más severos en la estructura del monte y del suelo (Larocca et al., 2018; Aroca-Fernández et al., 2019). Entre los numerosos procesos que conducen al deterioro de la estructura del suelo, la compactación del subsuelo inducida por el tráfico de vehículos pesados pareciera ser el desafío más importante a largo plazo para una producción sostenible.

De acuerdo con los conocimientos actuales, los procesos de compactación del suelo son sumamente complejos. Para un suelo dado, la distribución de la compactación en el perfil es función de la carga aplicada, la presión del rodado, el estado de humedad y la intensidad de tránsito recibida (Raper y Erbach, 1990). La compactación subsuperficial, está directamente influenciada por el peso de los vehículos, en forma independiente de la presión de contacto rueda suelo. Según Jorajuría et al. (1997), además del peso del vehículo, la compactación subsuperficial depende del número de pasajes que el mismo efectúe. A los efectos de evaluar el grado de compactación del suelo, las variables más utilizados son la resistencia del suelo a la penetración y la densidad aparente, esta última es una variable poco sensible a los cambios debido, principalmente, a la metodología utilizada que provoca la alteración de la estructura durante el proceso de muestreo (Gabriels y Lobo, 2011; Agostini et al., 2018). LA otra metodología es la resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMP), cuantificada por medio del índice de cono (ASAE, 1999) que relaciona la fuerza necesaria para penetrar un suelo con

¹ Mecanización Agraria y Forestal, FCAyF. UNLP. Contacto: victormeranimail.com/4236758 Int 545

² Genética, FCAyF. UNLP. Contacto: bongiornoflorencia@gmail.com/4236758 Int 550.

³ Manejo y conservación de suelos, FCAyF. UNLP. Contacto: g.j.millan61@gmail.com/4236758 Int 537.



un cono metálico de un ángulo determinado con la densificación del mismo. En este sentido Threadgill, (1982) señaló como determinantes de reducciones en el crecimiento radicular valores de índice de cono mayores a 1500 kPa.

Eucalyptus es uno de los géneros de especies forestales de hoja ancha más plantadas en el mundo, superando las 22,57 millones de hectáreas (Zhang y Wang, 2021). Este género abarca alrededor de 1205 especies (Missouri Botanical Garden, 2013) entre las cuales se destacan *E. grandis* Hill ex Maiden, *E. camadulensis* Dehnh., *E. tereticornis* Smith y *E. globulus* Labill. La superficie implantada de este último llega a un total de 2 308 869 ha en el mundo, siendo la península Ibérica la que concentra la mayor parte con el 53 % de la producción (Potts et al., 2004; Muñoz Riesco, 2007). A nivel nacional, la producción de *E. globulus* se encuentra ubicada principalmente en el sudeste (SE) de la provincia de Buenos Aires, especialmente en los partidos de Lobería, Necochea y San Cayetano. Esto puede deberse en parte a que en dicha región las condiciones edafo-climáticas presentan grandes similitudes con las del lugar de origen (Potts et al., 2004).

En los años '80 gran parte de la producción de madera del SE bonaerense se exportaba, a través del puerto de Quequén, teniendo como destino la industria celulósica, principalmente de Japón y la Unión Europea. Con la crisis institucional de la Argentina en el año 2001, este mercado se contrajo y se dejaron las plantaciones en pie y sin manejo alguno. Recién en el año 2011 se hizo un relevamiento de la superficie y existencia con la finalidad de explotar el potencial de la zona (Moreno y Igartúa, 2015). Al mismo tiempo que comenzaron a explotarse estos montes con destino de chipeado y pulpa; los mismos fueron talados con máquinas traídas de la zona del Litoral y su cosecha se realizó con *harvesters* adaptados de máquinas viales y extracción por medio de tractores con carros cargadores. El manejo silvícola de estos montes en la actualidad se basa en el recepado de los mismos. La capacidad de brotación y supervivencia se ve afectada en mayor o menor intensidad por muchos factores, entre los que se menciona la calidad física de los suelos.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tránsito, durante el corte y la extracción de madera, sobre la resistencia mecánica a la penetración (RMP) del suelo en una plantación de *Eucalyptus globulus* del SE bonaerense.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el establecimiento “El Triángulo” (38°32'40.9" S, 59°29'07.9" O) ubicado en Energía (partido de San Cayetano). Se seleccionó un lote homogéneo y sobre el mismo se realizaron pozos de prospección y mediciones de Resistencia a la Penetración en dos fechas: septiembre 2021 (Fecha 1) y marzo 2022 (Fecha 2). Los datos recopilados en la primera fecha se utilizaron para realizar el diagnóstico de la situación edáfica inmediatamente después de la cosecha mecanizada, mientras que los datos recopilados en la segunda fecha se utilizaron para evaluar el cambio de las propiedades en el corto plazo. Todas las evaluaciones se realizaron sobre una vía de saca y sus aledaños.

En función de la logística de cosecha, se definieron tres lugares de análisis (Figura 1):

1. Huella del camino (H), zona de pisada de las ruedas durante la cosecha y extracción.
2. Entre huellas del camino (EH), zona central entre las dos huellas de un camino.
3. Entre caminos (EC), superficie no pisada por vehículos, donde se depositan los árboles cosechados.



Figura 1. Croquis del diseño del ensayo. Huella (H), Entre huellas (EH) y Entre caminos (EC)



Definidas las tres zonas, se realizaron las siguientes determinaciones a modo de caracterización y evaluación de la situación edáfica y mecánica en cada una:

Resistencia mecánica a la penetración (RMP): se utilizó un penetrómetro de cono electrónico (FielScout SC900) para registrar el Índice de Cono (IC), acompañado de un perfil de humedad. Con los valores de IC se realizaron gráficos de curvas de isoresistencia a la penetración del suelo (kPa) en función de la profundidad. Para su construcción se estableció una transecta de 5 m de longitud, sobre las cuales se hicieron mediciones cada 0,15 m y hasta los 0,40 m de profundidad, las mismas se realizaron en sentido transversal al camino (Figura 2). En sentido longitudinal se realizaron mediciones cada 2 m en las posiciones H, EH y EC.

Se repitieron las mediciones de RMP a los 6 meses (Fecha 2). Se realizó un análisis estadístico de ANOVA ($p < 0,05$) utilizando software estadístico Infostat 2017 (Di Rienzo et al., 2008) de todos los datos recolectados.

Sistema y logística de cosecha

La cosecha en el establecimiento se realizó con el sistema de corte a medida de fustes largos. La maquinaria utilizada consistió en un *harvester* constituido por un maquina base Hyundai 220 LC-9S de 115,6 kW (155 HP) y 22 250 kg de peso con orugas metálicas de 700 mm, equipado con un cabezal Waratah HTH 616C de 1970 kg; el mismo realiza *in situ* apeo, desramado, corte a medida y clasificación. La extracción se realizó con un tractor Valtra BT190 de 149 kW (200 HP) y 10 450 kg, con carro autocargador de 12 t de capacidad y 4 ruedas.

Al momento de la cosecha el *harvester* se coloca a caballo sobre una fila de árboles sobre la que avanza extrayendo árboles de a 2 filas por lado y depositando los fustes trozados en la zona entre caminos. Para la extracción, el tractor y el carro cargador circulan sobre las huellas dejadas por la cosechadora, cargando la madera depositada, con un promedio de 7-8 entradas y salidas para terminar de extraer completamente la madera depositada entre las calles.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se pueden observar las curvas de isoresistencia a la penetración en función de la profundidad sobre una transecta transversal al sentido de avance de las máquinas, de 5,7 m de ancho y 0,4 m de profundidad. En la misma se visualiza una zona central (3 m) con valores de RMP cercanos a 3500-4000 kPa. Estos valores, si bien son muy altos, no pueden ser atribuidos a densificaciones del suelo, ya que esta zona de la transecta se hallaba dominada por las raíces de los árboles, coincidiendo con una línea de plantación, lo que generó valores de RMP muy elevados.

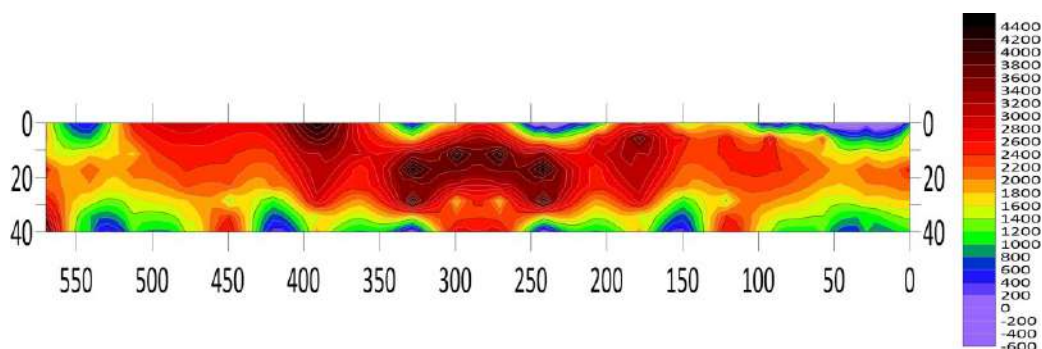


Figura 2. Representación gráfica de los valores RMP en corte transversal. Escala de colores expresada en KPa. Transecta de 5,7 m de ancho, transversal al avance, y 0,4 m de profundidad.

Se pueden observar, en posiciones aledañas a este centro, dos zonas bien delimitadas (entre 1,5-2 m y 3,5-4 m) con valores que van desde los 2000 kPa a los 4000 kPa, desde la superficie hasta los 0,3 m de profundidad aproximadamente. Estas zonas coinciden con la pisada de la rueda y el tratamiento Huella (H), pudiendo ser atribuidos estos valores al excesivo tránsito de elevado peso realizado por la maquinaria de cosecha y saca sobre estas zonas.



En la Figura 3 se observa desde los 0,05 m hasta los 0,4 m valores superiores a los 2000 kPa para todos los tratamientos, registrando los valores mayores en los tratamientos H y EH. Estos valores fueron obtenidos inmediatamente después de realizada la labor de cosecha y extracción y debe mencionarse que, si bien las zonas más afectadas por tránsito de maquinaria son los tratamientos H y EH, en el tratamiento EC se depositaron todos los troncos extraídos desde la cosecha hasta la extracción, generando una presión sobre el suelo que se vio reflejada en los valores de RMP, en coincidencia con Balbuena et al. (2000).

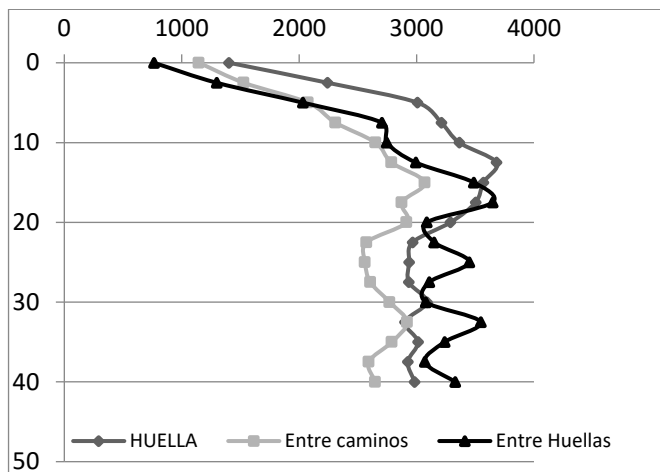


Figura 3. Valores de RMP durante la fecha 1 para los tres tratamientos (H, EH y EC) expresado en kPa hasta 0,4 m de profundidad.

En función de los datos obtenidos en la Figura 3, se decidió no realizar mediciones de RMP en el tratamiento EH durante la segunda fecha. En las Figuras 4 y 5 se observa durante la segunda fecha de medición una disminución de los valores respecto a los obtenidos en postcosecha tanto para el tratamiento H como EC. Estos valores coinciden con lo reportado por Larocca et al. (2018) y se atribuyen principalmente al crecimiento activo de las raíces presentes en el sistema. Las mismas son de mayor tamaño, pueden soportar la presión que se ejerce y esperar el momento oportuno de humedad del suelo para continuar su crecimiento y ayudar en el aflojamiento del mismo, diferenciándose así de los cultivos de escarda. Por otro lado, son raíces vivas que tienen al menos 6 meses sin ningún tipo de tránsito, condiciones que difícilmente se observan en producciones agrícolas.

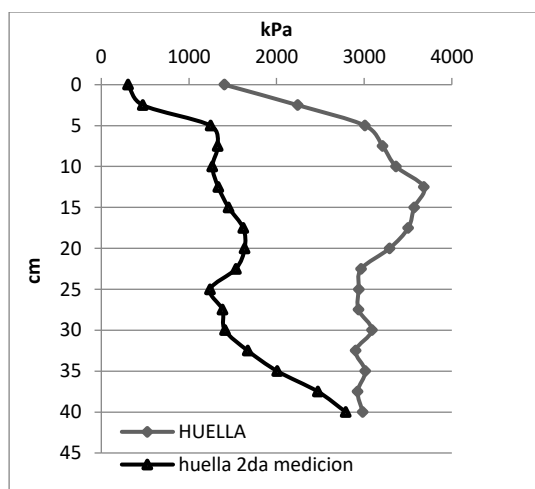


Gráfico 4. Valores de RMP para el tratamiento H en las dos fechas de medición (post cosecha y 6 meses después de la misma).

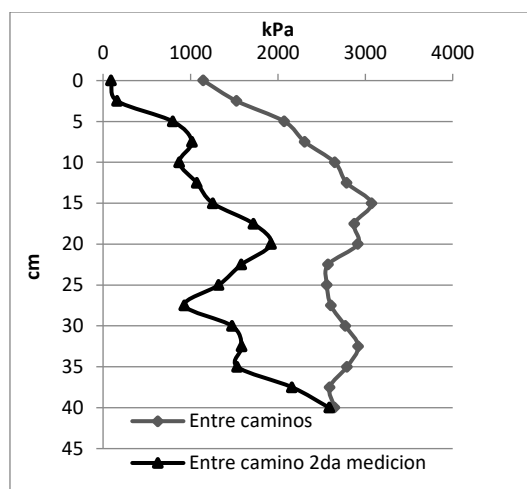


Gráfico 5. Valores de RMP para el tratamiento EC en las dos fechas de medición (post cosecha y 6 meses después de la misma).



Ninguno de los tratamientos (H y EC) en la fecha 2 de medición mantuvo valores de RMP mayores a los 2000 kPa hasta los 0,35 m de profundidad. Los valores menores a 1500 kPa no serían restrictivos para el normal crecimiento de los vegetales y solo se detendría el mismo con valores mayores a 2000 kPa (O'Sullivan et al., 1999). En función de esto, los árboles recepados no tendrían mayores inconvenientes en el crecimiento a partir de los 6 meses de realizada la cosecha y extracción y diferencias en el desarrollo y crecimiento vegetal deberían ser atribuidas a este primer periodo de crecimiento.

4. CONCLUSIONES

La cosecha mecanizada genera valores instantáneos elevados en la RMP; la misma desaparece luego de 6 meses sin tránsito y con activo crecimiento del material vegetal persistente postcosecha. De existir efectos negativos en el crecimiento de los renovales deben ser atribuidos al periodo inmediato postcosecha.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del personal de la empresa Nuevos Montes quienes gentilmente cedieron el predio para el ensayo y facilitaron la posibilidad de realizar las mediciones.

6. LITERATURA CITADA

- AGOSTINI, M. DE LOS A., G.F. DOMÍNGUEZ, G.A. STUDDERT, Y S.N. TOURN. 2018. Impacto de diferentes prácticas de manejo sobre algunas propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense. Compact. Nat. y antrópicas en suelos argentinos (7620): 495-512.
- AROCA-FERNÁNDEZ, M.J., J.A. BRAVO-FERNÁNDEZ, J.I. GARCÍA-VIÑAS, J.A. FERNÁNDEZ-YUSTE, Y R. SERRADA. 2019. Forest soils compaction : better hoofs or rubber-tired ? Cuad. Soc. Esp. Cienc. 45(3): 37-58.
- ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS). (1999). ASAE S313. 3: soil cone penetrometer. ASAE Standards.
- BALBUENA, R.H., A.M. TERMINIELLO, J.A. CLAVERIE, J.P. CASADO, Y R. MARLATS. 2000. Compactación del suelo durante la cosecha forestal. Evolución de las propiedades físicas. Eng. Agrícola 119(1900): 453-459.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- GABRIELS, D., Y D. LOBO. 2011. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. Venesuelos 14: 37-48.
- JORAJURIA, D., L. DRAGHI, Y A. ARAGON. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of Lolium/Trifolium grassland. Soil Tillage Res. 41(1-2): 1-12. doi: 10.1016/S0167-1987(96)01085-9.
- LAROCA, F., D. TEA, L. AYRTON, Y M. NEIFERT. 2018. Impacto de la compactación por tránsito de maquinaria en las vías de saca de cosecha forestal. Congr. Int. Suelos (1).
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN. 2013. <http://www.theplantlist.org>. World Flora Online (WFO).
- MORENO, K., Y D. IGART'A. 2015. Eucalyptus globulus en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: Edades, procedencias y densidad de la madera. Rev. Investig. Agropecu. 41(2): 143-148.
- MUÑOZ RIESCO, G. 2007. Aspectos particulares de la ordenación de plantaciones de eucalipto (*eucalyptus globulus labill.*). Boletín del CIDEU 3 3: 171-180.
- POTTS, B.M., R.E. VAILLANCOURT, G. JORDAN, G. DUTKOWSKI, J. DA COSTA E SILVA, et al. 2004. Exploration of the eucalyptus globulus gene pool. IUOFRO 250(494): 16. doi: 10.1126/science.250.4984.1069.
- RAPER, R.L., Y D.C. ERBACH. 1990. Prediction of soil stresses using the finite element method. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 33(3): 725-730. doi: 10.13031/2013.31392.
- THREADGILL, D. 1982. Residual Tillage Effects as Determined by Cone Index. Trans. ASAE.
- ZHANG, Y. Y X. WANG. 2021. Geographical spatial distribution and productivity dynamic change of eucalyptus plantations in China. Sci Rep 11, 19764. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97089-7>



COSECHA DE MADERA EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus* EN BRASIL: ENFOQUE DE *MACHINE LEARNING*

Thamires da SILVA¹, Valier Augusto SASSO JÚNIOR², Rodrigo Oliveira ALMEIDA³,
Rafaele Almeida MUNIS⁴, Danilo SIMÕES⁵

RESUMEN

La aplicación de las técnicas de *machine learning* posibilita predecir con más seguridad la productividad de máquinas forestales autopropulsadas empleadas en la cosecha de madera. Objetivo fue analizar si el desempeño de modelos de *machine learning* por medio de análisis de regresión atinge precisión para la predicción de la productividad del *harvester*. El estudio fue realizado en plantaciones de *Eucalyptus*, ubicados en Brasil. El análisis se pautó en la construcción de un banco de datos estructurado con diferentes atributos, siendo que la variable productividad del *harvester* fue el atributo objeto de la predicción. Fue aplicada la técnica de aprendizaje *supervisado*, por análisis de regresión, con *K-fold cross validation*. Para evaluar las performances predictivas, fueron utilizadas las métricas de Coeficiente de Determinación, Raíz de Error Cuadrático Medio y Error Absoluto Medio. Fueron ejecutados 18 algoritmos de aprendizaje y, por tanto, se constató que el mejor modelo generado para la predicción de productividad de *harvester* fue el algoritmo *Gradient Boosting Regressor*, con el se alcanzó un Coeficiente de Determinación de 0,72 y un Error Absoluto Medio de 17,79. Los atributos horas productivas, tiempo de experiencia del operador y volumen medio individual, presentan importancia relativa en la determinación de la productividad de *harvester*.

Palabras clave: *ciencia de datos; harvester; operaciones forestales; productividad.*

1. INTRODUCCIÓN

La operación de cosecha es la etapa final del ciclo de las plantaciones de *Eucalyptus*, siendo considerada esencial para el éxito productivo, es la fuente de gran parte de los costos productivos. Así, con el fin de reducir costos y aumentar la productividad de la operación, se busca la mecanización y racionalización de los sistemas, clasificados según el método de cosecha, englobando máquinas, mano de obra y herramientas específicas (Spinelli et al., 2018; Lundbäck et al., 2021).

Entre los sistemas de cosecha mecanizados, se destaca el *cut-to-length*, que realiza sus actividades utilizando máquinas forestales autopropulsadas, como el *harvester*. Algunas de las ventajas que presenta este sistema son la adaptabilidad a diferentes tipos de suelo, una mayor productividad, mayor seguridad para el operador y, además, debido a la deposición de residuos forestales en el suelo, hay una reducción de la compactación y los riesgos de erosión (Poje et al., 2019; Soman et al., 2020).

El *harvester* es una cosechadora forestal, que puede tener un sistema de neumáticos o de orugas, equipada con un cabezal procesador que realiza el corte, el desrame y el trozado de los árboles. En general, un cabezal procesador puede tener varios tipos de componentes, como una barra de corte, cuchillos de desrame, rodillos de alimentación y sensores para medir el diámetro y la longitud del tronco (Holzleitner y Kanzian, 2021; Svoikin et al., 2021).

¹ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: thamires.silva@unesp.br / +55 11 96741-8543.

² Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: valier.sasso@unesp.br / +55 14 99854-9002.

³ Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sudeste de Minas Gerais, Campus Muriaé. Contacto: rodrigo.almeida@ifsudestemg.edu.br / +55 32 91227-340.

⁴ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: rafaele.munis@unesp.br / +55 15 99642-6244.

⁵ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: danilo.simoies@unesp.br / +55 14 3800-7388



Actualmente se están aplicando herramientas de modelado y análisis de datos para comprender el comportamiento de las máquinas forestales autopropulsadas y para optimizar su productividad. Entre ellos, se aplica el *machine learning* para generar modelos de predicción y, a partir de un conjunto de datos, se realiza la búsqueda de información que sirva de apoyo a la toma de decisiones (Lopes et al., 2021; Munis et al., 2022).

El *machine learning* se caracteriza por la capacidad de las máquinas para aprender a manejar un conjunto de datos de manera eficiente, sin necesidad de una programación estricta. Dicho esto, el *machine learning* realiza el reconocimiento de patrones estadísticos en los datos de análisis y luego devuelve información sobre la instrucción para el tratamiento correcto de los problemas (Carleo et al., 2019; Sharma et al., 2021).

El proceso de *machine learning* se puede realizar principalmente de tres formas: aprendizaje supervisado, en el que se utilizan datos de entrada y salida conocidos para entrenar el algoritmo de aprendizaje; aprendizaje no supervisado, realizando el reconocimiento de patrones existentes no identificados en los datos; y la forma semi supervisada, combinando las anteriores, pudiendo alcanzar un mejor desempeño en algunos de los análisis realizados (Brunton et al., 2020; Verbraeken et al. 2020).

En este contexto, se justifica el uso de esta herramienta en la predicción de la productividad de las máquinas forestales autopropulsadas, para la toma de decisiones más asertiva y la maximización de los recursos productivos. Así, el objetivo de este trabajo fue analizar si el desempeño de los modelos de *machine learning*, por medio del análisis de regresión, logra precisión para predecir la productividad de la cosechadora forestal *harvester* en plantaciones de *Eucalyptus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Objeto de estudio

Los datos estructurados provinieron de la actividad de cosecha de madera en plantaciones de *Eucalyptus* spp., en espaciamiento de 3 m x 2 m, 168 meses de edad, ubicados en la región este del estado de Minas Gerais, Brasil, en las coordenadas geográficas 19°23' de Latitud Sur y 42°51' de Longitud Oeste. La superficie del terreno presentaba un relieve fuertemente ondulado, o sea, con una pendiente entre 20 y 45 % conforme descrito por Silva et al. (2022).

El sistema de cosecha fue el *cut-to-length*, en tala rasa, realizado con 22 *harvesters* de la marca *Ponsse*, modelo Ergo 8x8, con sistema rodante de neumáticos, motor con una potencia nominal de 205 kW y una masa típica de 21.500 kg. Estos *harvesters* contaron con cabezales procesadores de marca *Ponsse*, modelo H7, barra de corte de 900 mm, apertura máxima de 650 mm y velocidad de alimentación de 5 m/s y masa un total de 1.150 kg. Además, debido al relevo, en esta máquina hubo instalado un cabrestante *Herzog Alpine Harvester*, con cabo de 300 m de largo y fuerza de tensión de 0 a 10 t.

2.2 Estructura de la base de datos

Se construyó una base de datos estructurada a través de un *dataset*, siendo la unidad estadística el ciclo operativo, que contenía información técnica relacionada con la cosecha de madera. Los datos se generaron utilizando el reporte de producción de *StanForD*. Así, se adoptaron los siguientes atributos: largo de la trozas, tiempo de experiencia del operador, largo del fuste, edad de la plantación, horas productivas, turno, volumen total del rodal ($m^3 ha^{-1}$) y volumen medio individual (VMI). La variable productividad (m^3) del *harvester* fue el atributo objetivo de la predicción.

Con el fin de obtener un conjunto de datos de mejor calidad, se realizó un *data wrangling* para buscar los valores inconsistentes y atípicos, posteriormente, se aplicó un análisis exploratorio de datos. Se adoptaron el lenguaje de programación R y los paquetes *multidplyr*, *tidyverse*, *doFuture*, *foreach* (R CORE TEAM, 2022).

Se aplicó el aprendizaje supervisado (análisis de regresión) con *K-fold cross validation*. Cabe destacar los diferentes valores de *fold* utilizados, los cuales fueron de 5 a 50, variando de 5 en 5. Los datos fueron divididos en conjuntos de entrenamiento y prueba, con el 90 % y el 10 % del total de instancias, respectivamente. Por lo tanto, se ejecutaron 18 algoritmos de aprendizaje, en modo *default*. Se seleccionaron tres algoritmos con los mejores rendimientos de predicción. Los algoritmos seleccionados tuvieron sus hiperparámetros ajustados, para ello se probaron los *fold* variando de 5 en 5. Al final de este



proceso se comparó el desempeño predictivo de cada modelo, aplicado tanto en el conjunto de entrenamiento como en el conjunto de prueba.

En consecuencia, con el preprocesamiento de los datos y una selección de algoritmos, realizar el ajuste de los hiperparámetros, ya que pueden influir significativamente en los resultados. Así, se aplicaron los procesos de *tune*, *ensemble*, *blend* y *stack*. Además, se verificó el modelo con mayor rendimiento tras establecer comparativas entre todos los modelos creados.

Las performances predictivas se evaluaron utilizando las siguientes métricas: Coeficiente de Determinación (R^2), Error Cuadrático Medio (ECM) y Error Absoluto Medio (EAM). La aplicación del aprendizaje de máquina fue a través del lenguaje de programación *Python* y bibliotecas *SciPy*, *Scikit-learn*, *Pycaret*, *NumPy*, *Pandas* y *Matplotlib* (Chen, 2017; Raschka y Mirjalili, 2019; Tareen y Kinney, 2020; Bonald et al., 2020; Harris et al., 2020; Gain y Hotti, 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las dos características seleccionadas para una estimación de la productividad de los *harvesters* y teniendo una aplicación del algoritmo *Random Forest Regressor*, fue posible identificar que las horas productivas se destacaron con una mayor importancia relativa entre las características, con aproximadamente un 77 %.

Después de la ejecución de los 18 algoritmos de aprendizaje, se obtuvieron los mejores rendimientos de los modelos *Gradient Boosting Regressor* (GBR), *Lasso Regression* (LSR) y *Random Forest Regressor* (RF), utilizando el análisis de gradiente, la regresión lineal y el proceso de decisión, respectivamente. Cabe destacar que el GBR tuvo un R^2 de entrenamiento de 0,74, el LSR tuvo un R^2 de entrenamiento de 0,72 y el RF alcanzó un R^2 de entrenamiento de 0,71.

Así, se seleccionó el modelo *Gradient Boosting Regressor*, en modo predeterminado, en el que alcanzó un Coeficiente de Determinación de 0,74, ECM de 24,72 y EAM de 17,05 en el conjunto de los datos de teste (Cuadro 1). Por lo tanto, los modelos *Lasso Regression* y *Random Forest Regressor* presentan valores más bajos para la métrica R^2 .

Cuadro 1. Comparación de modelos basados en métricas de prueba.

Modelos	Modos	R^2	ECM	EAM
<i>Blended</i>	-	0,74	25,13	17,15
<i>Stacked</i>	-	0,74	25,06	17,14
	<i>Default</i>	0,74	24,72	17,05
<i>Gradient Boosting Regressor</i>	<i>Ensembled</i>	0,74	24,68	16,97
	<i>Tuned</i>	0,73	24,99	17,55
	<i>Default</i>	0,72	25,77	17,91
<i>Lasso Regression</i>	<i>Ensembled</i>	0,72	25,77	17,91
	<i>Tuned</i>	0,72	25,66	17,88
	<i>Default</i>	0,71	26,13	18,18
<i>Random Forest Regressor</i>	<i>Ensembled</i>	0,72	25,45	17,67
	<i>Tuned</i>	0,73	25,28	17,51

Según Wang y Gu (2015) y Li et al. (2018), el algoritmo *Gradient Boosting Regressor* se refiere a un modelo integrado, que admite varias funciones de pérdida y tiene capacidad predictiva expresiva frente a datos no lineales. Por lo tanto, este modelo proporciona mayor rendimiento y mejor estabilidad. Así, al evaluar el algoritmo, Otchere et al. (2022) encontraron que el GBR se basa en producir un modelo de predicción, que generalmente son árboles de decisión, para formar un modelo más robusto.

En consecuencia, Albaqsemi et al. (2018) demostraron que el modelo de predicción se actualiza utilizando el método de descenso de gradiente. Gupta et al. (2019) compararon algunas técnicas de regresión en sus



estudios, de modo que encontraron que *Gradient Boosting Regressor* y *Random Forest Regressor* tienen las capacidades predictivas más significativas basadas en varias métricas, ya que las métricas en común entre ambos estudios fueron el R^2 y ECM.

4. CONCLUSIONES

El desempeño de modelos de aprendizaje automático, mediante análisis de regresión, logra precisión para la predicción de la productividad de *harvesters* en bosques plantados de *Eucalyptus*.

La modelación de la productividad de la cosechadora mediante el algoritmo *Gradient Boosting Regressor*, en modo por defecto, promueve un Coeficiente de Determinación de 0,72 y un Error Absoluto Medio de 17,79, simulando condiciones reales de trabajo, es decir, en datos totalmente desconocidos para el algoritmo.

Los atributos horas productivas, tiempo de experiencia del operador y volumen promedio individual son de relativa importancia en la determinación de la productividad de los recolectores, por lo tanto, deben ser listados por los gestores forestales para la composición de la planificación estratégica.

5. AGRADECIMIENTOS

Grant 2022/06622-2, São Paulo Research Foundation (FAPESP).

6. LITERATURA CITADA

- ALBAQSAMI, A.; HOSSEINI, M. S.; BAGHERZADEH, N. 2018. HTF-MPR: A Heterogeneous TensorFlow Mapper Targeting Performance using genetic algorithms and Gradient Boosting Regressors. Design, Automation & Test. Washington. p. 331-336.
- BONALD, T.; LARA, N.; LUTZ, Q.; CHARPENTIER, B. 2020. Scikit-network: graph analysis in Python. Journal of Machine Learning Research. Cambridge. p. 1-6.
- BRUNTON, S. L.; NOACK, B. R.; KOUMOUTSAKOS, P. 2020. Machine learning for fluid mechanics. Annual Review of Fluid Mechanics. Palo Alto. p. 477-508.
- CARLEO, G.; CIRAC, I.; CRANMER, K.; DAUDET, L.; SCHULD, M.; TISHBY, N.; VOGT-MARANTO, L.; ZDEBOROVÁ, L. 2019. Machine learning and the physical sciences. Reviews of Modern Physics. College Park. p. 1-47.
- CHEN, D. Y. 2017. Pandas for Everyone: Python Data Analysis. Addison-Wesley Professional. Boston. 406 p.
- GAIN, U.; HOTTI, V. 2021. Low-code AutoML-augmented data pipeline – a review and experiments. Journal of Physics: Conference Series. Bristol. p. 2-8.
- GUPTA, I.; DEVEGOWDA, D.; JAYARAM, V.; RAI, C.; SONDERGELD, C. 2019. Machine learning regressors and their metrics to predict synthetic sonic and brittle zones. Unconventional Resources. Denver. p. 2635-2654.
- HARRIS, C. R.; MILLMAN, K. J.; VAN DER WALT, S. J.; GOMMERS, R.; VIRTANEN, P.; COURNAPEAU, D.; WIESER, E.; TAYLOR, J.; BERG, S.; SMITH, N. J.; KERN, R.; PICUS, M.; HOYER, S.; VAN KERKWIJK, M. H.; BRETT, M.; HALDANE, A.; DEL RÍO, J. F.; WIEBE, M.; PETERSON, P.; MARCHANT, P. G.; SHEPPARD, K.; REDDY, T.; WECKESSER, W.; ABBASI, H.; GOHLKE, C.; OLIPHANT, T. E. 2020. Array programming with NumPy. Nature. Londres. p. 357-362.
- HOLZLEITNER, F.; KANZIAN, C. 2021. Integrated in-stand debarking with a harvester in cut-to-length operations – processing and extraction performance assessment. International Journal of Forest Engineering. Nova Iorque. p. 66-79.
- LI, X.; LI, W.; XU, Y. 2018. Human age prediction based on DNA methylation using a Gradient Boosting Regressor. Genes. Burlington. p.424-439.
- LOPES, I. L. E.; ARAÚJO, L. A.; MIRANDA, E. N.; BASTOS, T. A.; GOMIDE, L. R.; CASTRO, G. P. 2021. A comparative approach of methods to estimate machine productivity in wood cutting. International Journal of Forest Engineering. Nova Iorque. p. 43–55.
- LUNDBÄCK, M.; HÄGGSTRÖM, C.; NORDFJELL, T. 2021. Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood. International Journal of Forest Engineering. Nova Iorque. p. 202-215.
- MUNIS, R. A.; ALMEIDA, R. O.; CAMARGO, D. A.; SILVA, R. B. G.; WOJCIECHOWSKI, J.; SIMÕES D. 2022. Machine Learning methods to estimate productivity of harvesters: mechanized timber harvesting in Brazil. Forests. Basileia. p. 1-14.



- OTCHERE, D. A.; GANAT, T. O. A.; OJERO, J. O.; TACKIE-OTOO, B. N.; TAKI, M. Y. 2022. Application of Gradient Boosting Regression model for the evaluation of feature selection techniques in improving reservoir characterisation predictions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Amsterdã. p. 1-11.
- POJE, A.; GRIGOLATO, S.; POTOČNIK, I. 2019. Operator exposure to noise and whole-body vibration in a fully mechanised CTL forest harvesting system in karst terrain. *Croatian Journal of Forest Engineering*. Zagreb. p. 139-150.
- RASCHKA, S.; MIRJALILI, V. 2019. Python machine learning: machine learning and deep learning with Python, Scikit-learn, and TensorFlow. Packt Publishing. Birmingham. 770 p.
- R CORE TEAM. 2022. R: A language and environment for statistical computing. Versão 4.2.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- SHARMA, N.; SHARMA, R.; JINDAL, N. 2021. Machine learning and deep learning applications-a vision. *Global Transitions Proceedings*. Pequim. p. 24-28.
- SILVA, T. O.; LACERDA, S. M. P.; SILVA, V. A.; OLIVEIRA, J. T.; FRANÇA, L. C. J.; LISBOA, G. S. 2022. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Rio dos Monos-Bahia, Brasil. *Conjecturas*. Caxias do Sul. p. 292–306.
- SOMAN, H.; KIZHA, A. R.; DELGADO, B. M.; KENEFIC, L. S.; KANOTI, K. 2020. Production economics: comparing hybrid tree-length with whole-tree harvesting methods. *Forestry*. Oxford. p. 389–400.
- SPINELLI, R.; MOURA, A. C. A.; SILVA, P. M. 2018. Decreasing the diesel fuel consumption and CO2 emissions of industrial in-field chipping operations. *Journal of Cleaner Production*. Amsterdã. p. 2174-2181.
- SVOIKIN, F.; SVOIKIN, V.; BAZAROV, S.; ALEXANDROV, A.; UGRYUMOV, S. 2021. Information support of the dynamics of system connectivity of wheel harvester operations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bristol. p. 1-9.
- TAREEN, A.; KINNEY, J. B. 2020. Logomaker: beautiful sequence logos in Python. *Bioinformatics*. Oxford. p. 2272-2274.
- VERBRAEKEN, J.; WOLTING, M.; KATZY, J.; KLOPPENBURG, J.; VERBELEN, T.; RELLERMEYER, J. S. 2020. A survey on distributed machine learning. *ACM Computing Surveys*. Nova Iorque. p. 30-63.
- WANG, H.; GU, G. 2015. Wavelet Gradient Boosting Regression method study in short-term load forecasting. *Smart Grid*. Varsóvia. p. 189–196.



PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DEL *GRAPPLE SKIDDER* EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus* EN BRASIL: ANÁLISIS ESTOCÁSTICO

Danilo SIMÕES¹, Qüinny SOARES ROCHA², Ricardo HIDEAKI MIYAJIMA³, Roldão Carlos ANDRADE LIMA⁴, André Lucas SOUSA DA SILVA⁵

RESUMEN

Entre los factores que influyen en la productividad y el costo de producción del *grapple skidder*, se destaca la distancia de arrastre, considerada una de las más importantes, que requiere una planificación rigurosa para maximizar la productividad de la actividad. Teniendo en vista lo anterior, se analizó si las distancias de arrastre interfieren en la productividad y los costos de producción del *grapple skidder* en la actividad de arrastre en condiciones de incertidumbres relacionadas con el tiempo y la productividad de las plantaciones de *Eucalyptus*. El análisis técnico se basó en el estudio de tiempos por el método continuo. El costo por hora programada ponderó los costos fijos y variables y la tasa de utilización del *grapple skidder*. Se utilizó el método de Montecarlo para obtener los valores probabilísticos. Los resultados mostraron que las relaciones monótonas entre las variables, el volumen de madera arrastrado tiene una correlación positiva con la productividad. Las distancias presentan una correlación negativa con la productividad del *grapple skidder* y el costo de arrastre es menor en las distancias de arrastre más cortas.

Palabras clave: *operaciones forestales; costos; planificación forestal; economía forestal*

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de productos forestales provocó un aumento en el nivel de mecanización y la inserción de tecnologías, principalmente en las operaciones de cosecha de madera. En Brasil se pueden utilizar diferentes sistemas mecanizados, dependiendo de las condiciones de suelo y clima, las características de las plantaciones, el destino de la madera, la mano de obra y la disponibilidad financiera de las empresas forestales.

Entre estos sistemas destaca el *full tree*, en el que la extracción mecanizada de la madera se realiza comúnmente mediante la máquina forestal autopropulsada *grapple skidder*. Esta máquina tiene un sistema rodante formado por neumáticos y realiza la extracción por medio del arrastre de un haz de fustes hacia el costado del camino forestal. La productividad y los costos de producción de los *grapple skidders* son los principales factores en la evaluación de la actividad de arrastre de madera mecanizada, dependiendo de la planificación y gestión forestal (Tavankar et al. 2021; Temba et al. 2021).

La productividad del *grapple skidder* puede verse influenciada por las características técnicas de la máquina forestal autopropulsada, la experiencia del operador, la pendiente, el volumen promedio de árboles individuales, la distancia de arrastre y los factores ambientales. Los costos de producción pueden verse afectados por el valor de compra y el valor residual del *grapple skidder*, la vida útil, las tarifas, los intereses, los impuestos, el consumo de combustible, el mantenimiento y la disponibilidad mecánica (Ezzati et al. 2021; Obi y Visser, 2021).

Debido a los cambios constantes en los factores que influyen en la productividad y los costos de

¹ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. danilo.simoese@unesp.br

² Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. quinny.rocha@unesp.br

³ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. richidetoshiyajima@hotmail.com

⁴ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. roldao.carlos@unesp.br

⁵ Facultad de Tecnología de Botucatu (Fatec), Botucatu. andre_lucas29@hotmail.com



producción del *grapple skidder*, considerar estas variaciones ayuda a los administradores forestales en la planificación de actividades y, en consecuencia, en la reducción de costos. El método de Montecarlo permite obtener una aproximación probabilística de la solución de una ecuación mediante funciones de densidad de probabilidad. Así, este método permite verificar la estabilidad de los resultados, incluyendo un elemento estocástico en sus variables de entrada, para simular la incertidumbre intrínseca de los *inputs* y *outputs* del modelo (Accastello et al., 2018; Luengo et al., 2020)

Al considerar la importancia del conocimiento de la productividad y los costos para los gestores forestales, con una perspectiva estocástica, se analizó si las distancias de arrastre interfieren en la productividad y los costos de producción del *grapple skidder* en la actividad de arrastre en condiciones de incertidumbre relacionadas con el tiempo y la productividad en plantaciones de *Eucalyptus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Los datos fueron obtenidos en plantaciones de *Eucalyptus platyphylla* de 72 meses de edad, en espacios de 3 m x 2 m, ubicados en el suroeste del estado de São Paulo, Brasil. El clima fue clasificado por Alvares et al. (2013) como subtropical húmedo (Cwa), con una temperatura promedio de 20 °C. Santos et al. (2018) identificaron el suelo como un Latosol Rojo-Amarillo Distrófico con textura media y Jourgholami et al. (2020) designaron la pendiente de 8 a 20 % como un relieve ondulado.

2.2 OBJETO DE ESTUDIO

La actividad de arrastre de los haces de fustes de *Eucalyptus* se realizó con un *grapple skidder*, marca *John Deere*, modelo 848H, potencia nominal de 149 Kw, con sistema rodante de neumáticos, tracción 4x4, pinza hidráulica con capacidad de 1,5 m², masa aproximada 17.826 kg y 15.657 horas de uso acumulado. Se evaluó a un operador masculino de 27 años de edad con dos años de experiencia en la función. Los tiempos de trabajo fueron registrados a través de estudio de tiempos, utilizando el método de cronometraje de tiempo continuo (Simões et al., 2018). Se observaron 50 ciclos operativos para una estimación preliminar del tamaño de la muestra con el fin de obtener una muestra suficientemente representativa, según Montgomery et al. (2009), con un nivel de confianza del 95 % y un error del 5 %.

La distancia de arrastre se clasificó en cuatro clases: (DA): 0-50 m; 51-100m; 101-150m y 151-200m. Las actividades del ciclo operacional, o sea, los elementos de máquina (EM) se clasificaron en desplazamiento con carga (DCC), desplazamiento sin carga (DSC), carga (C) y descarga (D).

2.3 PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE PRODUCCIÓN

Adoptada como uno de los principales indicadores de producción, la productividad se estimó a través del volumen de los haces de *Eucalyptus* arrastrados y el tiempo de ciclo (Ecuación 1), en línea con Bilici et al. (2019).

$$p = \frac{v}{t} \quad (1)$$

donde: p es la productividad (m³ h⁻¹); v es el volumen de los haces de *Eucalyptus* (m³), t es el tiempo de ciclo (h).

Se aplicó el sistema de costeo directo propuesto por Ackerman et al. (2014) que ponderó costos fijos y variables y 5 % de *overhead* calculados a partir de costos fijos. La tasa de interés se estimó utilizando el *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) de 7,67 %.

El costo de arrastre del *grapple skidder* (Ecuación 2) se puede calcular a través de la relación entre el costo por hora programada y la productividad por hora efectiva de la máquina forestal autopropulsada de acuerdo con Carey et al. (2018).



$$CA = \frac{CHP}{p} \quad (2)$$

donde: CA es el costo de arrastre (USD m^3); CHP es costo por hora programada (USD h^{-1}); p es la productividad ($m^3 h^{-1}$).

El análisis estocástico se elaboró a partir de los *inputs* del modelo matemático, incorporando los tiempos de los elementos de la máquina y el volumen de madera, sometidos a ajustes para determinar la distribución de probabilidad. Además, se asignó una distribución de probabilidad triangular considerando una variación de $\pm 15\%$ con relación al valor base de los componentes de costo fijo y variable de acuerdo con Miyajima et al. (2020). Como *outputs* se consideraron el costo por hora programada de la máquina forestal, la productividad y el costo de arrastre del *grapple skidder*.

Se realizó la simulación mediante el método de Montecarlo para obtener rangos de valores, por medio del *software @Risk 2022* (PALISADE CORPORATION, 2022), con generación de 100.000 pseudoaleatorios. Como se trata de datos no paramétricos, el coeficiente de correlación de *Spearman* (p_s) se midió con un nivel de significación del 5% (Wang et al. 2019).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La productividad promedio para DA 0-50 m fue de $111,52 m^3 h^{-1}$ ($\pm 55,39 m^3 h^{-1}$). En DA 51-100 m se observó una productividad promedio de $84,21 m^3 h^{-1}$ ($\pm 36,33 m^3 h^{-1}$). Con relación al DA 101-150 m, la productividad promedio se estimó en $69,80 m^3 h^{-1}$ ($\pm 27,89 m^3 h^{-1}$). El DA 151-200 m presentó una productividad promedio de $59,66 m^3 h^{-1}$ ($\pm 22,47 m^3 h^{-1}$).

Las relaciones monótonas entre variables se pueden clasificar en muy fuerte, fuerte, moderada, débil y muy débil según el coeficiente de correlación de *Spearman* (Schober y Schwarte, 2018). Al analizar el volumen de madera arrastrada con la productividad (Figura 1), se verificó una correlación positiva moderada en los CD 0-50 m, 51-100 m, 101-150 m y 151-200 ($p_s=0,77$; $p_s=0,79$; $p_s=0,81$ y $p_s=0,87$, respectivamente).

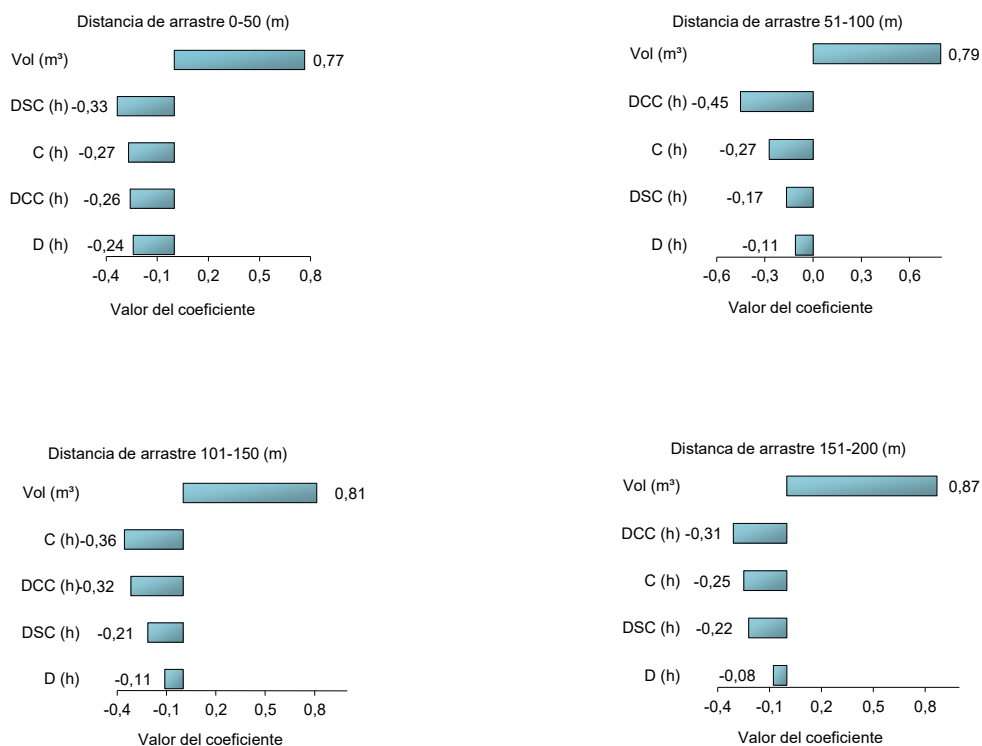


Figura 1. Coeficientes de correlación de *Spearman* de las variables dependientes volumen de madera y elementos de la máquina que influyeron en la productividad del *grapple skidder*. Dónde: DCC es el desplazamiento con carga, DSC es el desplazamiento sin carga, C es la carga y D es la descarga.



En cuanto a los elementos de la máquina de la actividad de arrastre de los haces de *Eucalyptus* por el *grapple skidder*, se observó que el desplazamiento con carga en el CD 51-100 m, presentó una correlación negativa moderada ($p_s = -0,45$). En los DC 51-100 m, 101-150 m y 151-200 m, la descarga indicó una correlación negativa muy débil ($p_s = -0,11$; $p_s = -0,11$; $p_s = -0,08$), respectivamente. En los otros EM, en todas las distancias de arrastre, la correlación fue débilmente negativa.

Entre los factores que influyen en la productividad del *grapple skidder*, Soman et al. (2019) y Ghaffariyan (2020) destacan la distancia de arrastre de los haces de *Eucalyptus*. Así, al dedicar más tiempo a recorrer largas distancias, el *grapple skidder* reducía la productividad en la actividad de arrastrar los haces de *Eucalyptus*.

El análisis económico permite estimar los costos de los recursos productivos, permitiendo acciones que puedan minimizarlos a través de la racionalización de las actividades. Así, los datos del costo por hora programada del *grapple skidder* fueron ajustados por la distribución de probabilidad Beta, siendo el costo promedio por hora programada de 83,99 USD h⁻¹ ($\pm 2,29$ USD h⁻¹), con un valor mínimo de 72,77 USD h⁻¹ y máximo de 95,19 USD h⁻¹ (Figura 2). La distribución mostró asimetría negativa (-0,0008) y curtosis platicúrtica (0,27).

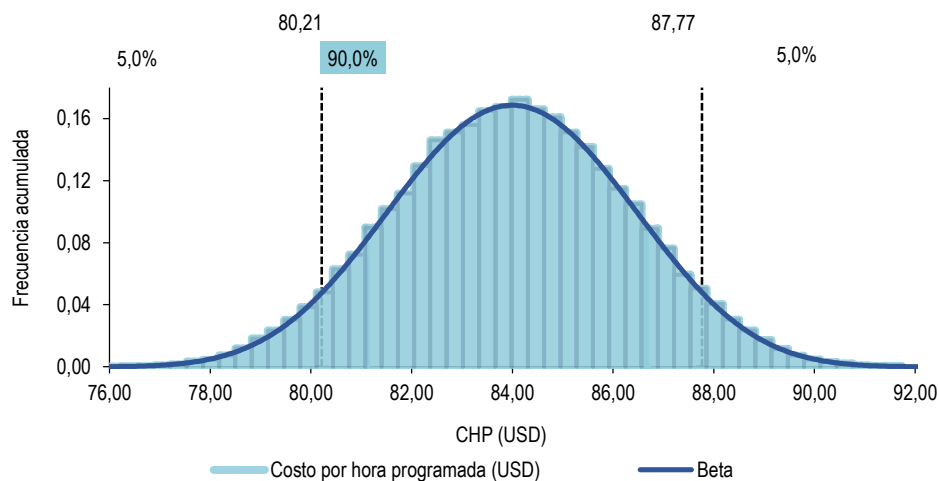


Figura 2. Función de distribución de probabilidad del costo por hora programada del *grapple skidder*.

Al considerar el costo de arrastre del *grapple skidder* (Figura 3), en CD 0-50 m, 51-100 m, 101-150 m y 151-200, el costo promedio de producción fue de 0,95 USD m⁻³ ($\pm 1,72$ USD m⁻³); 1,40 USD m⁻³ ($\pm 0,63$ USD m⁻³); 1,66 USD m⁻³ ($\pm 0,74$ USD m⁻³); 1,92 USD m⁻³ ($\pm 0,80$ USD m⁻³), respectivamente. La distancia de arrastre es directamente proporcional al costo de arrastre del *grapple skidder*. Así, con el aumento de la distancia, el costo de arrastre también aumentó. Al exigir más tiempo para realizar los desplazamientos, se produce un mayor consumo de recursos como el combustible, que representa un mayor porcentaje de los gastos, según Acuña et al. (2017).

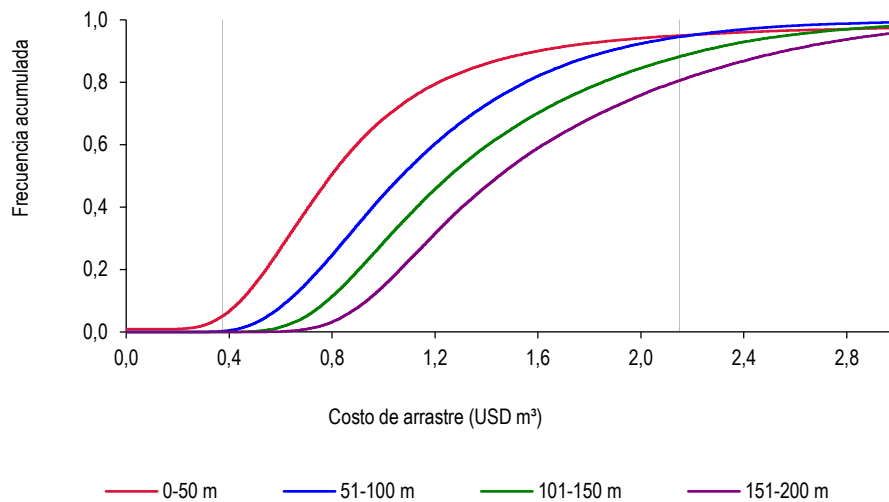


Figura 3. Costo de arrastre del *grapple skidder* en plantaciones de *Eucalyptus* en Brasil.

5. CONCLUSIONES

Las distancias interfieren en la productividad y los costos de arrastre del *grapple skidder* en plantaciones de *Eucalyptus* a través del enfoque de Montecarlo.

Considerando las relaciones monótonas entre las variables, el volumen de madera arrastrado tiene una correlación positiva con la productividad.

Las distancias indican una correlación negativa con la productividad en la actividad de arrastre de los haces de árboles en plantaciones de *Eucalyptus*.

El costo de arrastre del *grapple skidder* es más bajo en las distancias más cortas de arrastre de los haces de árboles en la tala mecanizada de madera.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – (CNPq).

7. LITERATURA CITADA

- ACCASTELLO, C. et al. 2018. Assessing the timber value: A case study in the Italian Alps. *Forest Policy and Economics*. v. 93, p. 36–44.
- ACKERMAN, P. et al. 2014. The COST model for calculation of forest operations costs. *International Journal of Forest Engineering*. v. 25, p. 75–81.
- ACUÑA, E. et al. 2017. Volume, physical characteristics and costs of harvest residue utilization of *Pinus radiata* as an energy source. *Custos e Agronegócio Online*. v.13, n. 1, p. 442-463.
- ALVARES, C.A. et al. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, p. 711–728.
- BILICI, E. et al. 2019. Assessing the effects of site factors on the productivity of a feller buncher: a time and motion analysis. *Journal of Forestry Research*. v. 30, p. 1471–1478.
- CAREY, P. et al. 2018. Productivity and costs of two low-investment biomass harvesting systems applied in a situation of mixed forest of semi-natural regeneration. *Bosque*. v. 39, p. 419–430.
- EZZATI, S. et al. 2021. The impact of weather and slope conditions on the productivity, cost, and ghg emissions of a ground-based harvesting operation in mountain hardwoods. *Forests*. v. 12, p. 1–19.
- GHAFFARIYAN, M.R. 2020. Reviewing productivity studies of skidders working in coniferous forests and plantations. *Silva Balcanica*. v. 21, p. 83–98.
- JOURGHOLAMI, M. et al. 2020. Effects of slope gradient on runoff and sediment yield on machine-induced compacted soil in temperate forests. *Forests*. v. 12, p. 1–19.



- LUENGO, D. et al. 2020. A survey of Monte Carlo methods for parameter estimation. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. v. 25, p. 1-62.
- MIYAJIMA, R.H. et al. 2020. Technical-economic analysis of grapple saw: a stochastic approach. *Croatian Journal of Forest Engineering*. v. 41, p. 219–229.
- OBI, O.F., VISSER, R. 2021. Estimating the influence of extraction method and processing location on forest harvesting efficiency - a categorical DEA approach. *European Journal of Forest Engineering*. v. 6, p. 60–67.
- PALISADE CORPORATION. 2022. @Risk.
- SANTOS, H.G. et al. 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5° ed. Brasília: EMBRAPA.
- SCHOBER, P., SCHWARTE, L.A. 2018. Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*. v. 126, p. 1763–1768.
- SOMAN, H. et al. 2019. Impacts of silvicultural prescriptions and implementation of best management practices on timber harvesting costs. *International Journal of Forest Engineering*. v. 30, p. 14–25.
- TAVANKAR, F. et al. 2021. The effects of soil moisture on harvesting operations in populus spp. Plantations: Specific focus on costs, energy balance and ghg emissions. *Sustainability*. v. 13, p. 1–21.
- TEMBA, G.P. et al. 2021. Modeling Productivity and Costs of Mechanized Tree Length Skidding Operations. *Tanzania Journal of Forestry and Nature Conservation*. v. 90, p. 62–73.
- WANG, B. et al. 2019. Compatible matrices of Spearman's rank correlation. *Statistics and Probability Letters*. v. 151, p. 67–72.



DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN FORWARDER EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus*: ENFOQUE EN *MACHINE LEARNING*

Valier Augusto SASSO JÚNIOR¹, Thamires da SILVA², André Lucas Sousa da SILVA³,
Rodrigo Oliveira ALMEIDA⁴, Rafaele Almeida MUNIS⁵, Danilo SIMÕES⁶

RESUMEN

El mantenimiento de las máquinas forestales autopropulsadas, como el *forwarder*, puede ejercer influencia en la productividad y el tiempo de la actividad. Dicho esto, para minimizar este efecto, se puede predecir el mantenimiento con la ayuda de modelos *machine learning*, para la toma de decisiones. Así, el objetivo fue comprobar si los datos de la extracción de madera, asociados a algoritmos de *machine learning*, favorecen la detección previa de fallas en el *forwarder*. El estudio se realizó utilizando datos sobre la extracción en plantaciones de *Eucalyptus*, ubicados en la región centro-oeste del estado de São Paulo, Brasil. La base de datos se estructuró con un *dataset* de 27 atributos. Se realizaron análisis exploratorios y *data wrangling*, dividiéndolos en conjuntos de entrenamiento y prueba. Se aplicó aprendizaje supervisado para detectar anomalías, con algoritmos de detección asociados a los de ayudas de clasificación. Se seleccionó el modelo con mejor desempeño en base a la matriz de confusión y las métricas de sensibilidad y especificidad. *Isolation Forest* con la ayuda de *Gradient Boosting* se destacó con mejor rendimiento. De esta forma, los datos de extracción de madera en plantaciones de *Eucalyptus*, asociados a algoritmos de *machine learning*, promovieron la detección previa de fallas en el *forwarder*.

Palabras clave: *aprendizaje supervisado; cosecha de madera; extracción de madera*

1. INTRODUCCIÓN

En el sistema de cosecha *cut-to-length*, se puede extraer la madera utilizando un *forwarder*. Esta máquina forestal autopropulsada puede equiparse con una estructura para el accionamiento mecánico hidrostático y sistema rodante de neumáticos. Así, las actividades realizadas se clasifican como trabajo cíclico, constituido por los elementos operativos: viaje sin carga, carga de madera, viaje con carga y descarga de madera (Proto et al., 2018; Cadei et al., 2020; Gelin y Björheden, 2020).

Entre los factores que pueden influir en la productividad y tiempo de operación del *forwarder*, se encuentra la disponibilidad mecánica, la cual está directamente asociada al mantenimiento de la máquina forestal autopropulsada. Dicho esto, es necesario identificar y solucionar las fallas mecánicas para evitar la interrupción de los procesos productivos. Así, la disponibilidad mecánica de la máquina forestal autopropulsada depende directamente del mantenimiento preventivo y, con ello, se pueden eliminar o reducir las intervenciones correctivas (Paccola, 2017; Wan et al., 2017; Carvalho et al., 2019).

De esa forma, la técnica de *machine learning* se puede aplicar con el fin de obtener resultados interpretativos para la toma de decisiones. La técnica permite solucionar problemas referentes al mantenimiento de máquinas forestales, permitiendo ventajas como: reducción de costos de mantenimiento,

¹ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: valier.sasso@unesp.br / +55 (14) 99854-9002.

² Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: thamires.silva@unesp.br / +55 (11) 96741-8543.

³ Facultad de Tecnología (FATEC), Botucatu. Contacto: andre_lucas29@hotmail.com / (14)996691329.

⁴ Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sudeste de Minas Gerais, Campus Muriaé. Contacto: rodrigooliveiraufv@gmail.com / +55 (32) 9122-7340.

⁵ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: rafaele.munis@unesp.br / +55 (15) 99642-6244.

⁶ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. Contacto: danilo.simoies@unesp.br / +55 (14) 3880-7388.



reducción de la parada por reparación, reposición del stock de piezas de reparación, aumento de la vida útil de las piezas, aumento de la producción, mejorando la seguridad del operador y verificando la necesidad de reparaciones (Peres et al., 2018; Çinar et al., 2020).

Por lo tanto, es posible que la ejecución del *machine learning* proporcione un uso más eficiente de los datos, lo que requiere diferentes algoritmos que permitan la computación paralela, la distribución de datos y la resiliencia a fallas para resolver posibles problemas de datos. Además, constituye un subcampo de la inteligencia artificial, cuyos análisis estadísticos se utilizan para extraer patrones y habilitar algoritmos específicos para cada situación (Nwanganga y Chapple, 2020; Borges et al., 2021).

La técnica de *machine learning* tiene diferentes enfoques de aprendizaje, como supervisado, no supervisado y semi supervisado. Entre estos, el aprendizaje supervisado es el más utilizado y el más popular. En esto, el conjunto de datos tiene una entrada y un valor de salida, de esta manera, se basa en la construcción de un clasificador encargado de estimar el valor de salida para nuevas entradas. (Reddy et al., 2018; Van Engelen y Hoos, 2020; Jaiswal et al., 2021).

En cuanto al contexto, se verificó si los registros de datos de la actividad de extracción de madera realizada por el *forwarder*, asociados a algoritmos de *machine learning*, promueven la detección previa de fallas de la máquina forestal autopropulsada, que opera en plantaciones de *Eucalyptus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Objeto de estudio

El estudio fue desarrollado a partir de datos de la actividad de extracción de madera en plantaciones de *Eucalyptus*, con espaciamiento de 3 m x 2 m, ubicados en la región centro-oeste del estado de São Paulo, Brasil, en las coordenadas geográficas 23° 26' de latitud Sur y 48° 61' de Longitud Oeste. Como describen Santos et al. (2018), el relieve fue clasificado como plano y pendiente suave, con pendientes de 0 y 8 %.

El clima de la región se caracterizó como Cfa, o sea, zona subtropical húmeda, con clima oceánico, verano caluroso e invierno seco, de acuerdo con la clasificación de *Köppen-Geiger*. La temperatura media anual de la región fue equivalente a 19,7 °C y la precipitación media anual correspondió a 1372,7 mm (Alvares et al., 2013; Xavier et al., 2022).

La operación de cosecha de madera se realizó mediante el sistema *cut-to-length*. Por lo tanto, el corte fue realizado por un *harvester* y la madera fue extraída por un *forwarder* marca Ponsse – modelo *Elephant King 8W*, con sistema rodante de neumáticos, motor con potencia nominal de 210 kW, masa aproximada de 23 700 kg, largo total de 11,06 m. La capacidad de carga era de 20 000 kg.

2.2 Aplicación de *machine learning*

Se estructuró una base de datos a partir de un *dataset*, generado a través de los mensajes de las situaciones de trabajo del *forwarder* transmitidos por el protocolo *Controller Area Network* (CAN), que contenía veintisiete atributos relacionados con defectos, fallas y averías de la máquina forestal autopropulsada *forwarder*. Entre ellos, el atributo “identificador de modo de falla” fue considerado como el objetivo de la predicción.

Se realizó un análisis exploratorio de datos y posteriormente se efectuó un *data wrangling*, con el objetivo de mejorar la calidad de la base de datos, eliminando *outliers* y valores inconsistentes. Así, del total de instancias, los datos se dividieron en conjuntos de entrenamiento y prueba, con un 90 % y un 10 % de las instancias, respectivamente. Para llevar a cabo los procesos enumerados se utilizó el lenguaje de programación R, a través de los paquetes *doFuture*, *foreach*, *multidplyr* e *tidyverse* (Stander y Valle, 2017; Hallquist y Wiley, 2018; Topçuoğlu et al. 2021; R CORE TEAM, 2022).

La técnica de *machine learning* se realizó de forma de dirigir el conjunto de entrenamiento al aprendizaje supervisado para la detección de anomalías, usando los algoritmos *Clustering-Based Local Outlier*, *Histogram-based Outlier Detection*, *Isolation Forest*, *k-Nearest Neighbors Detector*, *Local Outlier Factor* y *Principal Component Analysis*. En conjunto, se ejecutaron algoritmos auxiliares de clasificación, a saber: *Ada Boost*, *Decision Tree*, *Gradient Boosting*, *K Neighbors*, *Linear Discriminant Analysis*, *Logistic Regression*, *Multi Layer Perceptron*, *SVM - Linear Kernel*.



Luego de la combinación de los algoritmos de detección de anomalías asociados con los auxiliares de clasificación, se seleccionó el modelo con el mejor desempeño, basado en la matriz de confusión y las métricas de sensibilidad y especificidad. El proceso de *machine learning* se realizó utilizando el lenguaje de programación *Python*, utilizando las bibliotecas *Matplotlib*, *NumPy*, *Pandas*, *Pycaret*, *Scikit-learn* e *SciPy* (Kadiyala y Kumar, 2017; Pycaret, 2020; Alarcón y Alvarez, 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el perfil inicial del *dataset*, después del análisis exploratorio y *data wrangling*, se indicaron 41 518 instancias adecuadas para entrenamiento y prueba del algoritmo, puesto que no se identificaron *outliers*. Cabe mencionar que los datos fueron balanceados en base al atributo objetivo para la distribución de instancias en los conjuntos de entrenamiento, con 37 366 y en los conjuntos de prueba, con 4152.

De acuerdo con Cornetta y Touhafi (2021), el *data wrangling* mejora el rendimiento de los algoritmos aplicados, la eliminación de instancias nulas, la identificación de valores atípicos y el balanceo de los conjuntos, fue posible la alimentación de los algoritmos. Dicho esto, este procedimiento debe ser considerado una premisa, pues proporcionó mayor exactitud al modelo predictivo.

En la aplicación de los algoritmos para detección de anomalías en el conjunto de prueba, se pudo realizar la selección del modelo con mejor desempeño de predicción a través de la matriz de confusión. De acuerdo con Xu et al. (2020), este método permite visualizar el grado de confusión del algoritmo dentro de diferentes clases, enumerando las posibles causas de problema.

En concordancia con lo expuesto por Zeng (2019), la matriz de confusión enumera pares binarios, a saber: *True Negative* (TN), como el número de negativos reales correctamente clasificados; *False Negative* (FN), número de positivos clasificados incorrectamente; *True Positive* (TP), positivos correctamente clasificados; *False Positive* (FP), negativos mal clasificados. Dicho esto, fue posible evaluar la precisión de la clasificación con las métricas de sensibilidad y especificidad (Luque et al., 2019).

Ante esto, la selección del modelo con mejor desempeño se realizó filtrando los modelos (Figura 1). De esto, el *Isolation Forest* con la ayuda de *Gradient Boosting*, o IFOREST-GBC, se destacó como el modelo generado que logró el mejor desempeño de predicción (Cuadro 1).

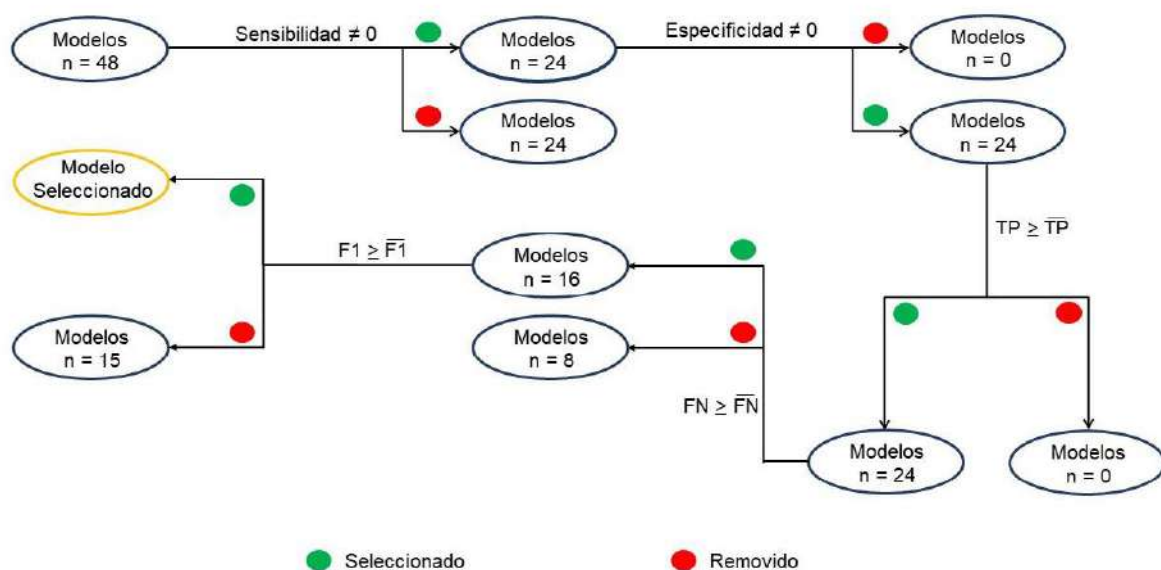


Figura 1. Proceso de filtrado para seleccionar el modelo con mayor desempeño predictivo.



Cuadro 1. Demostración del desempeño del modelo seleccionado, *Isolation Forest* con la ayuda de *Gradient Boosting*, según el proceso de filtrado aplicado para la selección.

Modelo	<i>True Positive</i>	<i>False Positive</i>	<i>True Negative</i>	<i>False Negative</i>	Sensibilidad	Especificidad
IFOREST-GBC	1,00	47,00	4104,00	0,00	1,00	0,99

Dicho esto, se puede señalar que, entre los beneficios derivados del modelo seleccionado, se encuentra la elaboración de planes estratégicos para la gestión del mantenimiento. Además, según Ran et al. (2019) y Pech et al. (2021), con la predicción de mantenimiento es posible lograr una baja frecuencia de reparaciones, evitando interrupciones y no incurrir en costos de reparación excesivos, además de predecir la vida útil de las piezas, elegir el mantenimiento adecuado y desarrollar cronogramas de reparación.

Pertenciente al contexto, se puede considerar que el uso de la técnica de *machine learning* en el manejo forestal es capaz de convertirse en un apoyo para la toma de decisiones, ya que el modelo de detección de anomalías de la máquina forestal autopropulsada proporcionó la determinación de una posible falla, exponiendo la necesidad de un mantenimiento previo a fin de evitar interrupciones y pérdida de productividad operativa.

4. CONCLUSIONES

Los registros de datos de la actividad de extracción de madera realizada por el *forwarder*, asociados a algoritmos de *machine learning*, promovieron la detección previa de fallas de la máquina forestal autopropulsada, que opera en plantaciones de *Eucalyptus*.

El modelo *Isolation Forest* con la ayuda de *Gradient Boosting*, se destaca con el mejor desempeño de detección de anomalías en el *forwarder*. De esta forma, realizando la predicción de mantenimiento, a través de ella, es posible recolectar atributos de la extracción de madera para promover condiciones de contorno a las anomalías.

5. AGRADECIMIENTOS

Grant #2022/06374-9, São Paulo Research Foundation (FAPESP).

6. LITERATURA CITADA

- ALARCÓN, A. P.; ALVAREZ, J. C. F. 2021. Alarconpy: a Python package for meteorologists. Zenodo. Génèbra. p. 1-9.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, L. M.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. Stuttgart. p. 711-728.
- BORGES, A. F. S.; LAURINDO, F. J. B.; SPÍNOLA, M. M.; GONÇALVES, R. F.; MATTOS, C. A. 2021. The strategic use of artificial intelligence in the digital era: systematic literature review and future research directions. International Journal of Information Management. Oxford. p. 1-16.
- CADEI, A.; MOLOGNI, O.; RÖSER, D.; CAVALLI, R.; GRIGOLATO, S. 2020. Forwarder productivity in salvage logging operations in difficult terrain. Forests. Basel. p. 341-355.
- CARVALHO, T. P.; SOARES, F. A. A. M. N.; VITA, R.; FRANCISCO, R. P.; BASTO, J. P.; ALCALÁ, S. G. S. 2019. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. Computers & Industrial Engineering. Oxford. p. 1-10.
- ÇINAR, Z. M.; NUHU, A. A.; ZEESHAN, Q.; KORHAN, O.; ASMAEL, M.; SAFAEI, B. 2020. Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. Sustainability. New Rochelle. p. 8211-8253.
- CORNETTA, G.; TOUHAFI, A. 2021. Design and evaluation of a new machine learning framework for iot and embedded devices. Electronics. Basiléia. p. 600.
- GELIN, O.; BJÖRHEDEN, R. 2020. Concept evaluations of three novel forwarders for gentler forest operations. Journal of Terramechanics. Oxford. p. 49-57.
- HALLQUIST, M. N.; WILEY, J. F. 2018. MplusAutomation: an r package for facilitating large-scale latent variable analyses in mplus. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal. Filadélfia. p. 1-18.



- JAISWAL, A.; BABU, A. R.; ZADEH, M. Z.; BANERJEE, D.; MAKEDON, F. 2021. A survey on contrastive self-supervised learning. *Technologies*. Basel. p. 1-22.
- KADIYALA, A.; KUMAR, A. 2017. Applications of Python to evaluate environmental data science problems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. Hoboken. p. 1580-1586.
- LUQUE, A.; CARRASCO, A.; MARTÍN, A.; HERAS, A. 2019. The impact of class imbalance in classification performance metrics based on the binary confusion matrix. *Pattern Recognition*. Amsterdã. p. 216-231.
- NWANGANGA, F.; CHAPPLE, M. 2020. *Practical Machine Learning in R*. Wiley. Hoboken. 464 p.
- PACCOLA, J. E. 2017. *Manutenção e operação de equipamentos móveis*. JAC. São José dos Campos. 270 p.
- PECH, M.; VRCHOTA, J.; BEDNÁŘ, J. 2021. Predictive maintenance and intelligent sensors in smart factory: review. *Sensors*. Basileia. p. 1470.
- PERES, R. S.; ROCHA, A. D.; LEITÃO, P.; BARATA, J. 2018. IDARTS – towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0. *Computers in Industry*. Amsterdã. p. 138-146.
- PROTO, A. R.; MACRÌ, G.; VISSER, R.; HARRILL, H.; RUSSO, D.; ZIMBALATTI, G. 2018. A case study on the productivity of forwarder extraction in small-scale Southern Italian forests. *Small-scale Forestry*. Dordrecht. p. 71-87.
- PYCARET. 2022. *PyCaret: low-code machine learning*. Versão 2.3.4. Python package.
- R CORE TEAM. 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. Versão 4.2.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- RAN, Y.; ZHOU, X.; LIN, P.; WEN, Y.; DENG, R. 2019. A survey of predictive maintenance: systems, purposes and approaches. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Piscataway. p. 1-36.
- REDDY, Y. C. A. P.; VISWANATH, P.; REDDY, B. E. 2018. Semi-supervised learning: a brief review. *International Journal of Engineering & Technology*. Rawalpindi. p. 81-85.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 1. ed. Brasília. Embrapa – SPI. 306 p.
- STANDER, J.; VALLE, L. D. 2017. On enthusing students about big data and social media visualization and analysis using r, Rstudio, and Rmarkdown. *Journal of Statistics Education*. Nova Iorque. p. 60-67.
- TOPÇUOĞLU, B. D.; LAPP, Z.; SOVACOL, K. L.; SNITKIN, E.; WIENS, J.; SCHLOSS, P. D. 2021. Mikropml: user-friendly R package for supervised machine learning pipelines. *Journal of Open Source Software*. Washington. p. 3073.
- VAN ENGELLEN, J. E.; HOOS, H. H. 2020. A survey on semi-supervised learning. *Machine Learning*. Nova Iorque. p. 373-440.
- WAN, J.; TANG, S.; LI, D.; WANG, S.; LIU, C.; ABBAS, H.; VASILAKOS, A. V. 2017. A manufacturing Big Data solution for active preventive maintenance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. Piscataway. p. 2039-2047.
- XAVIER, A. C. F.; MARTINS, L. L.; RUDKE, A. P.; MORAIS, M. V. B.; MARTINS, J. A.; BLAIN, G. C. 2022. Evaluation of quantile delta mapping as a bias-correction method in maximum rainfall dataset from downscaled models in São Paulo State (Brazil). *International Journal of Climatology*. Oxford. p. 175-190.
- XU, J.; ZHANG, Y.; MIAO, D. 2020. Three-way confusion matrix for classification: a measure driven view. *Information Sciences*. Filadélfia. p. 772-794.
- ZENG, G. 2019. On the confusion matrix in credit scoring and its analytical properties. *Communications in Statistics: Theory and Methods*. Nova Iorque. p. 1-14.



VIBRACIONES DE CUERPO ENTERO PRODUCIDAS POR UN GRAPPLE SKIDDER

Qüinny SOARES ROCHA¹, Roldão Carlos ANDRADE LIMA², Ricardo HIDEAKI MIYAJIMA³,
Emílio José COSTA FILHO⁴, Danilo SIMÕES⁵

RESUMEN

Las máquinas forestales autopropulsadas utilizadas en la extracción de madera pueden exponer a los operarios a agentes físicos, entre estos, las vibraciones mecánicas, que son difíciles de cuantificar. Por lo tanto, fue analizado si los modelos de regresión lineal múltiple son eficientes para predecir el efecto de la vibración sobre el cuerpo por medio de la aceleración ponderada durante el arrastre de haces de árboles con *grapple skidder* en bosques plantados de *Eucalyptus* en Brasil. Se recolectaron datos de vibración de tres modelos de *grapple skidder* y se desarrollaron ocho modelos de regresión lineal múltiple con las variables explicativas: aceleración de los ejes X, Y y Z, suma de las aceleraciones y máquina forestal autopropulsada, para predecir la variable respuesta aceleración ponderada en tres ejes ortogonales. Los modelos de regresión son eficientes para predecir la vibración sobre el cuerpo por medio de la aceleración ponderada en los ejes ortogonales durante el arrastre de haces de árboles con *grapple skidder*, siendo la aceleración del eje X la variable explicativa que presenta la mayor correlación lineal positiva con la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales de vibración de las máquinas forestales autopropulsadas analizadas. Las variables aceleración del eje X, suma de aceleraciones y modelo de máquina explicaron el 92 % de la variación de vibración de cuerpo completo.

Palabras clave: *operaciones forestales; cosecha de madera; ergonomía ocupacional; bosques plantados*

1. INTRODUCCIÓN

La cosecha de la madera es la etapa del proceso productivo forestal que recibe las mayores inversiones, con el fin de modernizar la operación y aumentar la productividad de las máquinas forestales autopropulsadas. La cosecha de madera por el sistema *full tree* es ampliamente utilizada en Brasil, que consiste en la tala acumulada de árboles, arrastrando los haces de árboles y procesando la madera fuera del rodal forestal (Lima et al., 2020; Rocha et al., 2022).

El arrastre de los haces de árboles en este sistema se suele realizar mediante el *grapple skidder* de pinzas, que consiste en una máquina forestal autopropulsada y articulada, con ruedas neumáticas, que permite tomar las bases de los árboles enteros con una garra. La actividad de esta máquina se desarrolla dentro de la masa forestal, y luego se desplaza bajo los residuos forestales, tocones, en zonas inclinadas y pedregosas, exponiendo a los operarios a riesgos laborales (Ghaffariyan, 2020; Miyajima et al., 2021).

Durante esta actividad, los operarios están expuestos a agentes físicos, como por ejemplo, la vibración de cuerpo entero (VCE), caracterizado como un movimiento involuntario que se repite durante un periodo de tiempo alrededor de un punto fijo (Schettino et al., 2021). Lima et al. (2019) y Cazani et al. (2020) afirman que este agente depende de la intensidad y del tiempo de exposición, pudiendo resultar en enfermedades ocupacionales en los operarios. La determinación de este agente físico necesita de equipamientos específicos y asociados a períodos de medición que son onerosos para la empresa forestal.

¹ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. quinny.rocha@unesp.br

² Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. roldao.carlos@unesp.br

³ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. richidetoshimiyajima@hotmail.com

⁴ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. miliocosta.filho@gmail.com

⁵ Universidad Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu. danilo.simoess@unesp.br



El análisis de regresión surge como una herramienta matemática eficaz para la predicción de este agente físico, pues según Dash et al. (2021) se adopta una variable dependiente y una o más variables explicativas. Por lo tanto, el objetivo que se plantea, es evaluar si los modelos de regresión lineal múltiple son eficientes para predecir la vibración de cuerpo entero a través de la aceleración ponderada en los ejes ortogonales durante el arrastre de haces de árboles con *grapple skidder* en bosques plantados de *Eucalyptus* en Brasil.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 RESPONSABILIDAD ÉTICA




Siguiendo los requisitos para estudios que involucran seres humanos, la investigación fue aprobada para su realización por el Comité de Ética en Investigación de la Universidade Estadual Paulista (Unesp), Facultad de Medicina, Campus de Botucatu, según el Certificado de Presentación de Apreciación Ética número 25739519.1.0000.5411.

2.2 ÁREA DE ESTUDIO

Los datos se recogieron en bosques plantados de *Eucalyptus platyphylla* de 72 meses de edad, con un espaciado de 3 m × 2 m, situados en la provincia de São Paulo, Brasil. En la clasificación de Köppen-Geiger, Alvares et al. (2013) identificó el clima como subtropical húmedo (Cwa), con invierno seco y verano caluroso con una temperatura media de 20 °C. En la región predominaba una topografía suavemente ondulada y, según Santos et al. (2018), el suelo fue clasificado como Latosolo Rojo-Amarillo Distrófico con textura media y Jourgholami et al. (2020) identificó el relieve como plano ondulado con pendiente de 0 a 20 %.

La madera fue cosechada utilizando el sistema *full tree*, y los haces de árboles fueron arrastrados por tres *grapple skidder* diferentes (Cuadro 1), operando a una distancia máxima de arrastre de 300 m.

Cuadro 1. Características de las máquinas forestales autopropulsadas (*grapple skidder*) utilizadas en la actividad de arrastre de haces de árboles.

Máquina forestal autopropulsada	Marca	Modelo	Tracción	Horas de uso acumulada	Capacidad de la garra
	Caterpillar	545 D	4 × 4	15.675	1,77 m ²
	John Deere	848 H	4 × 4	32.670	2,07 m ²
	John Deere	948 L	4 × 4	2.310	2,07 m ²

2.3 RECOPIACIÓN DE DATOS DE VIBRACIONES

Las evaluaciones de las exposiciones laborales a las VCE se basaron en las directrices de la *International Organization for Standardization ISO 8041-1* (2017) e *International Organization for Standardization ISO 2631-5* (2018). Los datos se midieron mediante un acelerómetro triaxial con un *seat pad* fijado al asiento de las máquinas forestales autopropulsadas, respetando la localización de los tres ejes ortogonales X, Y y Z, donde X corresponde a la vibración anteroposterior transmitida al cuerpo del operador, Y corresponde a la vibración lateral y Z corresponde a la vibración vertical longitudinal.

2.4 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

La aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales (a_v) se aplicó como referencia para los valores límite de vibración y límite de actuación recomendados por la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (2021) y se calculó según la ecuación 1.

$$a_v = \left([1.4 a_{wx}]^2 + [1.4 a_{wy}]^2 + [a_{wz}]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

donde: a_v es la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales en m s⁻² rms (rms = media general cuadrática ponderada), a_w es la aceleración total ponderada en el eje en rms.



Se realizó la correlación de *Pearson* (ρ) según Bussab y Morettin (2017) para verificar la correlación entre las variables aceleración de los ejes X, Y y Z, la suma de aceleraciones y la máquina forestal autopropulsada con a_v en el arrastre de los haces de árboles. Se adoptó la metodología propuesta por Griffin (1990) para la construcción de modelos lineales de regresión múltiple, permitiendo el ajuste de las variables explicativas: aceleración de los ejes X, Y y Z, suma de las aceleraciones y tipo de máquina forestal autopropulsada para predecir la variable respuesta a_v . Además, en línea con Montgomery y Runger (2018), se calculó el coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}^2) y el criterio de información *Bayesiano* (BIC). Los análisis se realizaron con el *software* R (R CORE TEAM, 2022).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variable explicativa con mayor correlación con la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales (a_v) fue la aceleración del eje X con $\rho=0,94$ (Figura 1). La variable con menor correlación fue la suma de las aceleraciones ($\rho=0,65$). Las aceleraciones del eje Y y del eje Z mostraron una correlación de $\rho=0,72$ y $\rho=0,71$, respectivamente. De acuerdo con Sullivan (2018), la correlación entre la aceleración del eje X y a_v se consideró como una fuerte relación lineal positiva. La aceleración del eje Y, el eje Z y la suma de las aceleraciones se clasificaron como relación lineal positiva moderada.

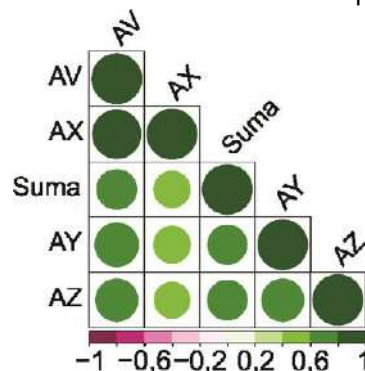


Figura 1. Gráfico de correlación de *Pearson* entre la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales (AV) y la aceleración en los ejes X, Y, Z y la suma de las aceleraciones de las máquinas forestales autopropulsadas en la actividad de arrastre de haces de árboles.

A partir de la correlación de *Pearson*, se desarrollaron modelos de regresión múltiple (Cuadro 2) para predecir el a_v con las variables explicativas aceleración de los ejes X, Y y Z, suma de aceleraciones y tipo de máquina forestal autopropulsada.

Cuadro 2. Modelos de regresión múltiple para la predicción de la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales de máquinas forestales autopropulsadas en operaciones de cosecha de la madera.

Modelo	Ajuste
01	$a_v = \beta_0 + \beta_1 AX + \varepsilon$
02	$a_v = \beta_0 + \beta_1 AY + \varepsilon$
03	$a_v = \beta_0 + \beta_1 AZ + \varepsilon$
04	$a_v = \beta_0 + \beta_1 SA + \varepsilon$
05	$a_v = \beta_0 + \beta_1 SA + \beta_2 SA^2 + \varepsilon$
06	$a_v = \beta_0 + \beta_1 AX + \beta_2 AY + \beta_3 AZ + \varepsilon$
07	$a_v = \beta_0 + \beta_1 SA + \beta_2 M + \varepsilon$
08	$a_v = \beta_0 + \beta_1 AX + \beta_2 SA + \beta_3 M + \varepsilon$

donde: a_v es la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales en $m\ s^{-2}\ rms$; β es el parámetro del modelo; AX es la medición de la aceleración en el eje X; AY es la medición de la aceleración en el eje Y; AZ es la medición de la aceleración en el eje Z; SA es la suma de la aceleración instantánea; M es la máquina forestal autopropulsada evaluada; ε es el error asociado al ajuste.

Según las métricas de evaluación (Cuadro 3), los mejores ajustes los presentaron los modelos 01, 06 y 08. Las aceleraciones ponderadas de los ejes representaron el mejor rendimiento en la predicción de a_v . A pesar de indicar la menor correlación con a_v , la suma de las aceleraciones, añadida a los modelos



de la máquina, también presentó un buen rendimiento en la predicción de la variable de respuesta en la actividad de arrastre de los haces de árboles.

Cuadro 3. Parámetros y métricas para la evaluación de los modelos de regresión múltiple en la predicción de la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales de las máquinas forestales autopropulsadas en la operación de cosecha de la madera.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	R_{aj}^2 (%)	BIC
01	7.657	1,50			88,78	7.731,88
02	27.250	1,88			58,64	8.201,63
03	2.550	1,67			51,53	8.258,71
04	37.810	1,27			42,29	8.321,56
05	32.960	2,09	$-1,46 \times 10^{-5}$		46,77	8.297,33
06	2.465	1,14	0,62	0,38	98,93	6.894,95
07	47.410	1,17	SK06 -10.890 SK08 -13.290		44,86	8.314,89
08	11.050	1,30	0,37	SK06 -3,101 SK08 -4,858	92,01	7.624,51

donde: β es el parámetro ajustado; del modelo; R_{aj}^2 es el coeficiente de determinación ajustado, BIC es el criterio de información *Bayesiano*.

El modelo 01 estuvo compuesto por la variable explicativa que presentó mayor correlación con la variable respuesta, lo que puede explicar su buen desempeño. Como la aceleración de los ejes X, Y y Z integran el cálculo de a_v , en el modelo ajustado (06), explicaron el 98,93 % de la variación de la VCE del *grapple skidder*. En el modelo 08, las variables explicativas de la aceleración del eje X, la suma de las aceleraciones y el modelo de la máquina explicaron el 92,01 % de la variación de a_v , lo que indica que estas variables pueden aplicarse en la predicción de las VCE durante el arrastre de haces de árboles con el *grapple skidder*. El histograma de frecuencia de errores reafirmó que los mejores ajustes de la predicción del a_v , fueron los modelos 06 y 08, al presentar mayor concentración de errores cercanos a cero (Figura 2).

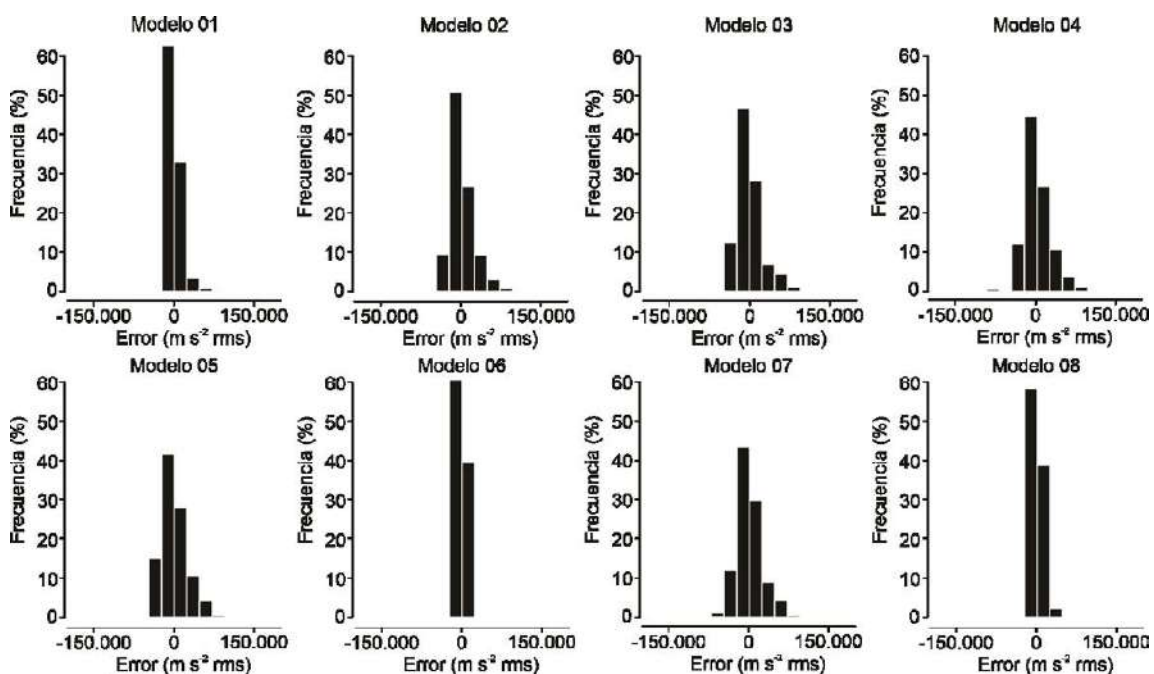


Figura 2. Histograma de frecuencia de errores de los modelos de ajuste de la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales de la vibración de las máquinas forestales autopropulsoras en la actividad de arrastre de los haces de árboles.

La inclinación del terreno, las características del suelo y la carga también son variables que afectan a las vibraciones transmitidas a los operadores en las actividades de cosecha mecanizada de madera. Poje et al. (2019) reportan que, además del modelo de máquina, la velocidad y el estilo de conducción de los



operadores, el proyecto y la geometría de la máquina, el tipo de suspensión, la transmisión de la fuerza a las ruedas, la distribución de la masa, la posición del asiento del conductor y las características del asiento afectan a la exposición de los operadores de máquinas forestales a las vibraciones de cuerpo entero.

5. CONCLUSIONES

Los modelos lineales de regresión múltiple son eficientes para predecir la vibración de todo el cuerpo mediante la aceleración ponderada en los ejes ortogonales durante el arrastre de haces de árboles con *grapple skidder* en bosques plantados de *Eucalyptus* en Brasil.

La aceleración del eje X es la variable explicativa que presenta mayor correlación lineal positiva con la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales de vibración de las máquinas forestales autopulsadas analizadas.

Las variables aceleración del eje X, suma de aceleraciones y modelo de máquina explicaron el 92,01 % de la variación de la aceleración ponderada en los tres ejes ortogonales de la vibración de la actividad de arrastre de los haces de árboles.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

7. LITERATURA CITADA

- ALVARES, C. A. et al. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22 (6): 711–728.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENT INDUSTRIAL HYGIENISTS. 2021. Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. ACGIH. Cincinnati. 298 p.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. 2017. *Estatística básica*, 9. ed. Saraiva, São Paulo, 450 p.
- CAZANI, A. C. et al. 2020. Operator Exposure to Whole-Body Vibration in Timber Extraction with Grapple Skidder. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*. v. 9, p. 177-182.
- DASH, R. K. et al. 2021. Fine-tuned support vector regression model for stock predictions. *Neural Computing and Applications*.
- GHAFFARIYAN, M. R. 2020. General Productivity Predicting Model for Skidder Working in Eucalypt Plantations. *European Journal of Forest Engineering*. v. 6, n. 1, p. 1-6.
- GRIFFIN, M. J. 1990. *Handbook of Human Vibration*. Academic Press, London. 988 p.
- ISO 8041-1. 2017. International Organization for Standardization: Human response to vibration - Measuring instrumentation. ISO. Londres. 91 p.
- ISO 2631-5. 2018. International Organization for Standardization: Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. ISO. Londres. 33 p.
- JOURGHOLAMI, M. et al. 2020: Effects of slope gradient on runoff and sediment yield on machine-induced compacted soil in temperate forests. *Forests*, v. 12, p. 1–19.
- LIMA, C. F. et al. 2019. Occupational Noise and Vibration Assessments in Forest Harvesting Equipment in North-eastern Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International*. v. 40, n. 5, p. 1-9.
- LIMA, L. F. et al. 2020. Quality assessment of pine wood harvesting by residue inventory using line intercept cluster sampling. *International Journal of Forest Engineering*. v. 31, n. 3, p. 1-6
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. 2018. *Applied statistics and probability for engineers*, Wiley, Arizona State University, 710 p.
- MIYAJIMA, R. H. 2021. The impact of felling method, bunch size, slope degree and skidding area on productivity and costs of skidding in a Eucalyptus plantation. *Croatian Journal of Forest Engineering*. v.42, n. 3, p. 381-390.
- POJE, A.; GRIGOLATO, S.; POTOČNIK, I. 2019. Operator Exposure to Noise and Whole-Body Vibration in a Fully Mechanised CTL Forest Harvesting System in Karst Terrain. *Croatian Journal of Forest Engineering* 40 (1): 139-150.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna.
- ROCHA, Q. S. et al. 2022. Economic viability of the whole tree harvest under conditions of uncertainty: a study in southeastern Brazil. *International Journal of Forest Engineering*. v. 33, n. 1, p. 1-8.
- Santos, H. G. et al. 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*, 5 ed., EMBRAPA, Brasília, 355 p.
- SULLIVAN, M. 2018. *Statistics: informed decisions using data*. Pearson. Boston. 960 p.



MODELOS PREDICTIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN RODALES DE *Pinus taeda* CON ALTA DENSIDAD

Eduardo HILDT¹, Andrés LESZCZUK², Emanuel L. ALASIA³, Maiten A. MARTÍNEZ⁴, Patricio M. MACDONAGH⁵

RESUMEN

En el escenario actual, donde la demanda de trozas pulpables se encuentra satisfecha, los productores forestales deben encontrar una alternativa para viabilizar el aprovechamiento de los rodales que no cuentan con raleos. En este estudio se simuló el trozado de 19 rodales de *Pinus taeda* L., aplicando 8 instrucciones de trozado diferentes, combinando trozas aserrables gruesas, medias y finas de 10 y 12 pies, y trozas pulpables. En cada caso se estimó la cantidad de biomasa forestal obtenida de los ápices, ramas y acículas. Estas instrucciones también contemplaron la posibilidad de no elaborar trozas aserrables finas y trozas pulpables, destinando esa porción del fuste como biomasa forestal. Se encontró que cuando no se aprovechan trozas aserrables finas y tampoco se aprovecha el material pulpable, la cantidad de material destinado como biomasa para energía se incrementa en un 74 %. En cambio, si no se elaboran trozas aserrables finas pero esa porción del fuste se destina a las trozas pulpables (T3 y T7), el incremento en la biomasa obtenida solo alcanza el 12 %.

Palabras clave: *simulación del trozado, abastecimiento, tala rasa, dendroenergía*

1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía a partir de biomasa forestal está incrementando su importancia en los últimos años, con la instalación de nuevas plantas térmicas en Misiones. Hasta ahora la mayoría de estas industrias se abastecen de chips, de aserrín y residuos de los aserraderos. Por otra parte, la comercialización de madera pulpable se dificulta debido a que actualmente la demanda está satisfecha, obligando a que los productores forestales, independientes o integrados en cooperativas, busquen una alternativa para comercializar los segmentos finos del fuste.

En el departamento de Montecarlo (Misiones), en el entorno de la Cooperativa Agrícola Mixta Montecarlo (CAMM), se ha identificado que la mayoría de las plantaciones de los pequeños productores presentan altas densidades, con retraso en el programa de raleos, bajos diámetros y un reducido valor en pie. Las trozas pulpables y la biomasa para energía generalmente presentan precios de mercado bajos (21 US\$/t para las trozas pulpables y 13 US\$/t para la biomasa para energía, ambas puestas en la industria). En la medida en que se incrementa la distancia entre los rodales y las industrias, los costos de transporte reducen la posibilidad de aprovechar estos productos de menor valor (FAO, 2020).

El objetivo de este estudio fue simular y analizar la disponibilidad de biomasa en plantaciones conducidas sin raleos. Es un objetivo también analizar el impacto de la falta de comercialización de trozas pulpables, y la evaluación de la posibilidad de destinar este volumen a la producción de biomasa forestal. Se evaluó como afecta el conjunto de productos elaborados al volumen de biomasa para energía y al valor total de los productos obtenidos durante la cosecha.

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

² CONICET-UNaM. Contacto: leszczukandresalejandro@gmail.com

³ UNaM. Contacto: emanueleandro97@gmail.com

⁴ UNaM. Contacto: maitenaylenmartinez@gmail.com

⁵ UNaM – Profesor Titular Explotación Forestal - Contacto: patricio.macdonagh@gmail.com



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: este estudio fue realizado en plantaciones de *Pinus taeda* L. de socios de la CAMM, en el departamento de Montecarlo (Misiones). Para el estudio se eligieron 19 rodales (79 ha) con diferentes edades. Los rodales elegidos fueron clasificados en tres grupos: A, rodales sobre-maduros con un único raleo; B, rodales en turno de corta sin raleos; C, rodales jóvenes sin raleos (Cuadro 1).

Simulación del trozado: a partir de la información generada por un inventario forestal (5 % de intensidad, 68 parcelas de 600 m²), se simuló el trozado de los árboles empleando el simulador de trozado ST-19 (Hildt, 2020). Se evaluó la capacidad de producción de madera sólida (trozas aserrables y pulpables) y biomasa para energía en forma de chips (volumen de ramas, conos y acículas que podrían triturarse para abastecer a una usina eléctrica a partir de biomasa), considerando los productos indicados en el Cuadro 2. Se empleó el modelo para la estimación del volumen individual de Crechi *et al.* (2006) y los modelos de estimación de biomasa de Fassola *et al.* (2010). El peso fresco de esta biomasa se estimó considerando un contenido de humedad medio del 94,1 % (Mitchell y Gallagher, 2007). El simulador de trozado ST-19 tiene la capacidad de simular el impacto que tienen los defectos de los árboles sobre el resultado del trozado. Para ello, se consideró que el 50 % de los árboles poseen fustes con rectitud deficiente. Por otra parte, se consideró que la forma deficiente de los fustes afecta a la probabilidad de obtener productos largos, empleando los siguientes coeficientes: Trozas de 12 pies: 45 % de aceptación; Trozas de 10 pies: 75 % de aceptación (Hildt, 2020). El volumen de las trozas aserrables y pulpables fue transformado a biomasa fresca considerando la densidad teórica 1 t/m³.

Los precios de los productos (puestos en la industria) fueron tomados del Boletín de precios de productos forestales enero 2022 confeccionado por el Colegio de Ingenieros Forestales de Misiones (COIFORM, 2022), transformados a dólares considerando el tipo de cambio oficial de 111,71 \$/US\$. Para estimar el valor de los productos puestos sobre el camión al borde de camino se descontó el costo de cosecha, considerando 8,34 US\$/t para las trozas aserrables y de 7 US\$/t para la biomasa fresca.

Cuadro 1. Características dasométricas de los rodales evaluados. Fuente: Elaboración propia.

	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Densidad (árb./ha)	735	1022	1209
DAP medio (cm)	28,5	23,5	18,9
Área basal (m ² /ha)	48,1	44,3	34,5
Volumen medio (m ³)	0,83	0,45	0,22
Volumen total (m ³ /ha)	593,4	416,3	262,9
Edad	> 18 años	13 a 15 años	< 13 años

Cuadro 2. Productos evaluados durante la simulación de trozado. Fuente: Elaboración propia.

Categoría	Producto	dpf mín [cm]	dpf máx [cm]	Largo	Precio en industria (US\$/m ³) ^a	Valor sobre camión (US\$/m ³) ^b
Aserrable grueso	As 3,7 - 25pf	25	99	12 pies – 3,72 m	45,70	37,36
	As 3,1 - 25pf	25	99	10 pies – 3,12 m		
Aserrable medio	As 3,7 - 18pf	18	99	12 pies – 3,72 m	40,41	32,07
	As 3,1 - 18pf	18	99	10 pies – 3,12 m		
Aserrable fino	As 3,7 - 14pf	14	17,9	12 pies – 3,72 m	30,00	21,66
	As 3,1 - 14pf	14	17,9	10 pies – 3,12 m		
Pulpable	Pulpable	5	24,9	3,4 m ± 0,21 m	21,04	12,70
Biomasa	Chips				12,98	5,98

^a Boletín de enero 2022 (COIFORM, 2022). ^b Valor de los productos puestos sobre el camión, al borde del camino, una vez descontado los costos de cosecha, trituración y carga (sin descontar el costo del flete hasta la industria). “dpf mín”: diámetro en punta fina mínimo (cm); “dpf máx”, diámetro en punta fina máximo.

Instrucciones de trozado: se ensayaron ocho instrucciones de trozado diferentes (Cuadro 3), resultado de la combinación de tres factores, con dos niveles cada uno. **(A)** Longitud de las trozas aserrables: 12 pies o 10 pies. **(B)** Aprovechamiento de trozas aserrables finas: con aprovechamiento del aserrable fino > 14 cm en punta fina; o sin aprovechamiento de trozas aserrables finas. **(C)**



Aprovechamiento de trozas pulpables: con aprovechamiento de trozas pulpables o sin aprovechamiento de material pulpable (realizando el despunte al finalizar la última troza aserrable).

Cuadro 3. Instrucciones de trozado evaluadas.

Instrucción	Combinación de productos
T1	As 3,1 – 25pf + As 3,1 – 18pf + As 3,1 – 14pf + Pulpable + Biomasa
T2	As 3,1 – 25pf + As 3,1 – 18pf + As 3,1 – 14pf + Biomasa
T3	As 3,1 – 25pf + As 3,1 – 18pf + Pulpable + Biomasa
T4	As 3,1 – 25pf + As 3,1 – 18pf + Biomasa
T5	As 3,7 – 25pf + As 3,7 – 18pf + As 3,7 – 14pf + Pulpable + Biomasa
T6	As 3,7 – 25pf + As 3,7 – 18pf + As 3,7 – 14pf + Biomasa
T7	As 3,7 – 25pf + As 3,7 – 18pf + Pulpable + Biomasa
T8	As 3,7 – 25pf + As 3,7 – 18pf + Biomasa

Análisis estadístico: los resultados fueron analizados por medio del ajuste de modelos de regresión lineal múltiple. Para cada variable independiente se ajustaron diez modelos diferentes, combinando las variables predictoras significativas. El efecto del largo de los productos fue incorporado por medio de la variable *dummy* **dLargo**₁₂, que vale 1 cuando se elaboran productos aserrables de 12 pies, y 0 cuando la instrucción de trozado no incorpora ningún producto de 12 pies. De la misma forma, las variables *dummy* **dAserrableFino** y **dPulpable** valen 1 cuando se elaboran productos de estas categorías y 0 si estos productos no están presentes. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de los modelos lineales de normalidad y homogeneidad de la varianza. En cada caso, el mejor modelo fue seleccionado atendiendo al Criterio de Información de Akaike (AIC) y al coeficiente de determinación R² ajustado por el número de parámetros del modelo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 4 presenta un resumen de los modelos elegidos para las distintas variables evaluadas. Los modelos ajustados se diferencian en tres grupos: modelos para la estimación del volumen de piezas sólidas, modelos para la estimación de la biomasa total que potencialmente podría aprovecharse, y modelos para la estimación del valor bruto de las trozas sólidas, de la biomasa y del total combinado.

Cuadro 4. Modelos predictivos ajustados para el volumen y el valor de los productos elaborados, en función de las características de los rodales y del esquema de trozado.

Variable	Modelo	N	R ² Aj
1 Trozas > 25 cm [m ³ /ha]	$VT_{25} = - 38,24 - 7,04 * V_i + 72,83 * V_i^3 + 7,55 * dLargo_{12} + 5,58 * G * V_i - 49,47 * V_i * dLargo_{12}$	136	0,97
2 Trozas 18 – 25 cm [m ³ /ha]	$VT_{18-25} = - 35,52 - 0,063 * N + 5,09 * G - 17,45 * dLargo_{12}$	152	0,86
3 Trozas 14 – 18 cm [m ³ /ha]	$VT_{14-18} = - 15,35 + 0,04 * N + 0,61 * G - 7,15 * dLargo_{12}$	76	0,66
4 Trozas pulpables [m ³ /ha]	$V_{trit} = - 30,70 + 0,05 * N + 2,30 * G + 0,62 * dLargo_{12} * G - 0,05 * N * dAserrableFino$	76	0,88
5 Biomasa para energía (seca) [Mg/ha]	$B_{ms} = 8,82 + 3,20 * G - 1,21 * G * dPulpable - 10,00 * dAserrableFino$	152	0,90
6 Biomasa para energía (fresca) [Mg/ha]	$B_{mf} = 17,13 + 6,22 * G - 2,35 * G * dPulpable - 19,41 * dAserrableFino$	152	0,90
7 Valor Bruto Trozas [US\$/ha]	$Val_{ts} = - 3178,04 + 94,00 * G + 303,78 * G * V_i + 1557,89 * dTriturable + 734,71 * dAserrableFino - 2169,42 * dLargo_{12} * V_i$	152	0,98
8 Valor Bruto Biomasa para energía [US\$/ha]	$Val_{bs} = 102,45 + 37,17 * G - 14,04 * G * dPulpable - 116,05 * dAserrableFino$	152	0,90
9 Valor Bruto Total [US\$/ha]	$Val_{b.Total} = - 2830,86 + 125,40 * G + 300,85 * G * V_i + 969,07 * dPulpable + 618,66 * dAserrableFino - 1923,01 * dLargo_{12} * V_i$	152	0,98

Donde: dLargo₁₂: *dummy* para el largo de las trozas; dPulpable: *dummy* para el aprovechamiento de trozas pulpables; dAserrableFino: *dummy* para el aprovechamiento de trozas aserrables con 14-18 cm en punta fina; N: densidad (árboles/ha); G: área basal (m²/ha); V_i: volumen del árbol medio (m³).



La posibilidad de obtener trozas aserrables con más de 25 cm en punta fina depende del volumen medio de los árboles, del área basal y de la longitud de las trozas aprovechadas. El volumen de trozas con entre 18 y 25 cm en punta fina mostró una relación directamente proporcional con el área basal del rodal, e inversamente proporcional con la densidad (N). El aumento del número de árboles y del área basal implicó un incremento en el volumen de trozas aserrables finas y de trozas pulpables.

El aprovechamiento de trozas aserrables largas generó un incremento del volumen de trozas pulpables en rodales con valores altos de área basal (Figura 1). Cuando se simuló la elaboración de trozas aserrables finas de 10 pies, las trozas pulpables alcanzaron en promedio los 66,5 m³/ha. En cambio, cuando se elaboraron trozas aserrables de 12 pies, el volumen de trozas pulpables ascendió a 95 m³ en promedio. Este resultado puede deberse a dos procesos complementarios: en primer lugar, la conicidad del fuste provoca que las trozas de 12 pies deban ser obtenidas segmentos con mayor diámetro, incrementándose la proporción del fuste destinada a trozas pulpables; por otra parte, los mayores requerimientos de calidad de las trozas largas provocan la degradación de los segmentos torcidos del fuste, los cuales pasan a procesarse como material pulvable. Finalmente, el volumen de trozas pulpables se vio incrementado cuando no se elaboraron trozas aserrables con menos de 18 cm en punta fina (T3 y T7).

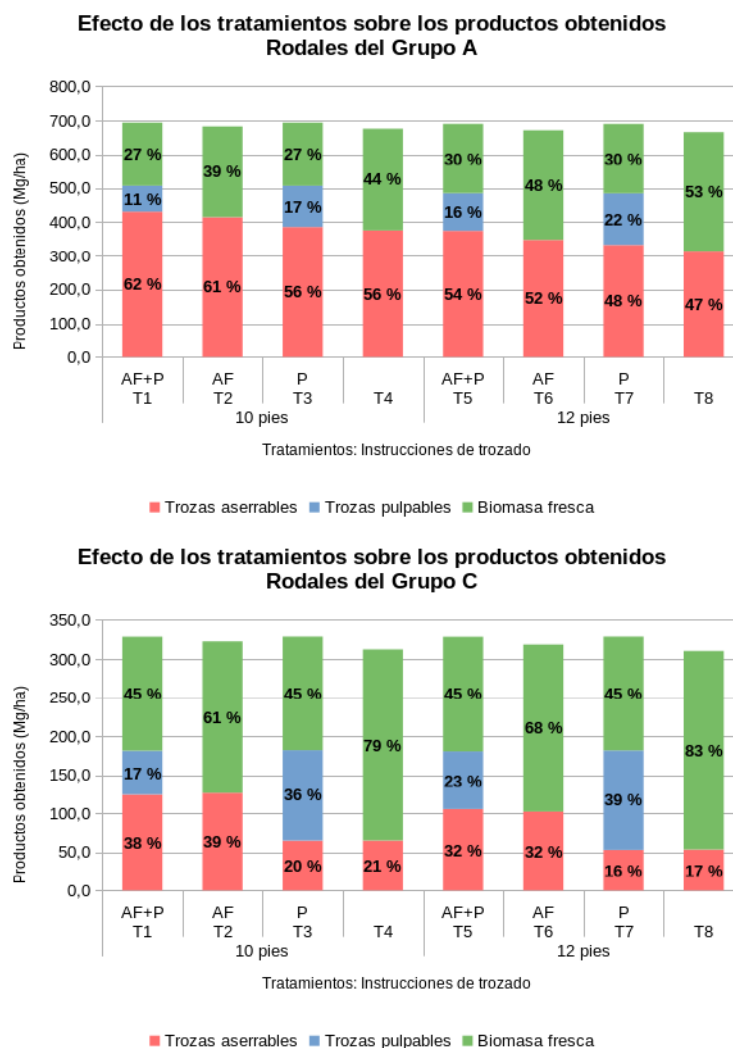


Figura 1. Peso fresco estimado para los productos obtenidos en las diferentes instrucciones de trozado evaluadas, comparando los rodales sobremaduros (A) y los rodales más jóvenes (C).

El Modelo 5 (Cuadro 4) presenta la estimación de la biomasa triturable para energía seca, en función del área basal del rodal y con la opción de realizar o no el aprovechamiento de trozas aserrables finas y trozas pulpables. Por otra parte, el Modelo 6 estima el peso de la biomasa fresca. Los modelos 7 y 8 (Cuadro 4) estiman el valor total (US\$/ha) correspondiente a las piezas aserrables, pulpables y a la



biomasa para energía. El valor total de los productos aserrables y pulpables se incrementó en la medida en que aumentó el área basal de los rodales y el volumen individual de los árboles. Los coeficientes ajustados para el volumen individual indican que el valor total de los productos aserrables depende de que el área basal del rodal esté motivada por la existencia de árboles con un alto volumen individual. La decisión de no elaborar trozas aserrables finas o de elaborar trozas aserrables largas, de 12 pies, repercutió de forma negativa en el valor total de los productos aserrables y pulpables. Sin embargo, ambas decisiones provocaron un incremento en el volumen de biomasa forestal que puede destinarse al abastecimiento de usinas térmicas para la generación de energía.

El resultado final de una operación de cosecha está definido por la combinación de trozas aserrables pulpables y de biomasa triturable para la producción de energía. El Modelo 9 (Cuadro 4) presenta la función ajustada para el Valor Total combinado de todos los productos (US\$/ha). En el escenario que se da en la actualidad en Misiones, donde los pequeños productores forestales no tienen la posibilidad de vender sus trozas pulpables a las fábricas celulósicas, las instrucciones de trozado T1, T3, T5 y T7 dejan de ser opciones factibles. En esta situación, el aprovechamiento de la biomasa para energía tiene el potencial de incrementar el retorno hasta valores similares a los que se obtendrían en un escenario tradicional, donde se comercializan las trozas pulpables, pero no se aprovecha la biomasa. Citando un ejemplo, en el Grupo C, el aprovechamiento de trozas aserrables y pulpables en la instrucción T1 (sin aprovechar la biomasa) generó un valor total de 4117 US\$/ha. En cambio, la instrucción T2 permitió obtener 4627 US\$/ha combinando trozas aserrables y biomasa.

Por otra parte, si se plantea un escenario de abastecimiento de biomasa para suplir las necesidades de una planta térmica, las instrucciones T4, T6 y T8 son las que logran producir un mayor volumen de biomasa al tiempo que también generan trozas aserrables (Figura 1).

4. CONCLUSIONES

Este estudio simuló el trozado de rodales con falta de raleos, ajustando modelos predictivos del volumen de productos aserrables, trozas pulpables y biomasa que podría obtenerse bajo diferentes escenarios de trozado. Estos modelos pueden aplicarse a la planificación preliminar del potencial de abastecimiento de biomasa en una cuenca forestal del norte de Misiones constituida por rodales con altas densidades debido a la falta de raleos.

En un mercado donde los pequeños productores no logran acceder a las industrias celulósicas, el aprovechamiento de la biomasa para energía puede ayudar a compensar la caída en el ingreso debido a la imposibilidad de comercializar las trozas pulpables. La importancia del aprovechamiento de la biomasa es mayor en los rodales más jóvenes (Grupos B y C), donde el escaso diámetro de los árboles limita la obtención de trozas aserrables. Futuros estudios podrían orientarse hacia la estimación de la productividad y los costos reales de la elaboración de biomasa en forestaciones de la región. También deberá explorarse el impacto de la distancia de transporte hasta las plantas de dendroenergía.

5. LITERATURA CITADA

- CRECHI, E. H.; FASSOLA, H. E.; KELLER, A.; BARTH, S. 2006. MODELOS DE ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN INDIVIDUAL DE ÁRBOLES CON Y SIN CORTEZA DE *Pinus taeda* L. PARA LA ZONA NORTE DE MISIONES, ARGENTINA. En: Acta de las 12as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. (pp. 1-14). Eldorado, Misiones, Argentina.
- FAO. 2020. Potencial de desarrollo de plantaciones dendroenergéticas en la Argentina. Colección Documentos Técnicos N.º 18. Buenos Aires
- FASSOLA, H. E.; CRECHI, E. H.; BARTH, S. R.; KELLER, A. E.; WINCK, R. A.; MARTIARENA, R.; VON WALLIS, A.; PINAZO, M.A.; KNEBEL, O. 2010. Modelos regionales de biomasa aérea de *Pinus taeda* para Misiones y NE de Corrientes, Argentina. En: Acta de las 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. (pp. 1-11). Eldorado, Misiones, Argentina.
- HILDT, E. 2020. Desarrollo de modelos de productividad para harvesters y forwarders en plantaciones de *Pinus* spp. del noreste argentino: efectos de la densidad del rodal, la intensidad de raleo y los productos elaborados. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 123 pp.
- MITCHELL, D.; GALLAGHER, T. 2007. Chipping Whole Trees for Fuel Chips: A Production Study. Southern Journal of Applied Forestry. 31(4), p. 1-9.



¿PUEDEN LAS IMÁGENES SATELITALES SER UTILIZADAS PARA CLASIFICAR Y DISTINGUIR ENTRE GÉNEROS Y ESPECIES FORESTALES?

Ivan N. INSUA¹, Matías Carlos GAUTE¹

RESUMEN

En las actividades forestales, la elección de especies a utilizar varía, entre otras cosas, en función de las características ambientales del sitio y del destino de la producción. Algunas especies poseen cualidades que las tornan más apropiadas para producir competitivamente en un determinado ambiente, por lo que resulta fundamental reconocer y contar con datos actualizados sobre la composición de los rodales en Argentina. En este sentido, existen una alta variedad de satélites con sensores que operan en un amplio rango de bandas espectrales, que junto a sistemas de clasificación como Random Forest (RF) representan herramientas que permiten discriminar entre distintos tipos de uso del suelo presentes en una superficie de interés. En cuanto a los satélites, se optó por utilizar imágenes Sentinel-2 dado que posee, entre otras ventajas, alta resolución espacial y temporal. Se utilizó además un sistema de clasificación supervisada, representando una metodología en la cual las muestras de entrenamiento parten de un conocimiento previo del terreno, aumentando la precisión de la clasificación y pudiendo llegar a distinguir entre géneros y/o especies vegetales. En el presente trabajo, se analizó la precisión de clasificaciones supervisadas utilizando el algoritmo RF, en rodales forestales de las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones. Se obtuvieron precisiones del 91 % en el departamento Colón y 75 % en el departamento Eldorado y 93 % para el departamento de Santo Tomé. El mapa generado permite visualizar la distribución espacial de las plantaciones de *Eucalyptus grandis*, *E. dunnii*, *Pinus taeda*, *P. elliottii*, *Araucaria angustifolia*.

Palabras clave: Sentinel-2, Random Forest, clasificación supervisada, Mesopotamia

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina existen 1 321 912 hectáreas dedicadas a la producción forestal (Tablero de plantaciones forestales, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial - DNDFI 2021) predominando las forestaciones de pinos, eucaliptos y en menor medida la de salicáceas. Debido a la extensión de nuestro territorio, Argentina cuenta con una alta heterogeneidad climática y ambiental, lo que deriva en una gran variedad de ecosistemas y regiones productivas. La principal región de producción forestal del país es la Mesopotamia (provincias de Corrientes, Misiones y Entre Ríos) donde se utilizan distintas especies de pinos y eucaliptos, principalmente *Pinus taeda*, *P. elliottii* y *Eucalyptus grandis* (Mapa de plantaciones forestales de actualización permanente, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial, 2022). Sin embargo, podemos encontrar una alta variedad de producciones a lo largo del país. La elección de especies forestales está relacionada con las condiciones ambientales donde se desarrollará la plantación y con el objetivo productivo. Por esta razón resulta fundamental conocer no solo los géneros, sino las especies que componen los rodales forestales dentro del territorio argentino.

Teniendo en cuenta esto, los sistemas de teledetección representan una manera rápida de poder discriminar entre diferentes usos del suelo, pudiendo distinguir incluso entre géneros y especies (Rujoiu-Mare et al., 2017; Mishra et al., 2020; Borràs et al., 2017). Estos sistemas buscan reconocer las características de la superficie terrestre y los fenómenos que suceden en ella a partir de datos registrados por un sensor de radiación. Dentro de sistemas de teledetección encontramos dos grandes grupos: sistemas ópticos o pasivos y sistemas radares o activos (Sobrino, 2001). Los sensores ópticos

¹ Área SIG e Inventario Forestal. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. mgaute@magyp.gob.ar / +54 - 11- 4363-6181



utilizan fuentes de energía naturales, como por ejemplo el sol. Por otro lado, los sensores radares (o de apertura sintética) operan en longitudes de microondas y proporcionan su propia energía radiante de forma artificial (Perez et al., 2002; Turner et al., 2003). Entre los satélites con sensores ópticos podemos destacar a Sentinel-2, el cual posee características positivas para trabajar con superficies vegetales de uso antrópico: alta resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica (Segarra et al., 2020). Además, se puede disponer de manera gratuita de las imágenes obtenidas por dicho satélite. Sentinel-2, como cualquier satélite óptico, mide la cantidad de radiación electromagnética que es reflejada por la tierra. Cada superficie sobre la cual incide esta radiación se comporta diferente con respecto al espectro electromagnético, teniendo distintas respuestas en los distintos rangos de este. Por ejemplo, la vegetación suele absorber la parte del espectro correspondiente al azul y al rojo, refleja en menor medida la correspondiente al verde y tiene una alta reflectancia en la porción correspondiente al infrarrojo cercano (Hoffer et al., 1969). El comportamiento particular que tiene una superficie frente a la radiación electromagnética se denomina firma espectral y puede ser utilizada para distinguir, entre otras cosas, géneros o especies vegetales entre sí (Hoffer et al., 1969). En este trabajo se utilizaron datos de diversas bandas del satélite Sentinel-2, de superficies forestales de características conocidas y corroboradas a campo por técnicos de la DNDFI, para realizar una clasificación supervisada teniendo en cuenta la firma espectral particular de los distintos géneros y especies presentes en la región mesopotámica. Mediante nuevas metodologías basadas en la utilización de potentes servidores conectados entre sí a través de internet (“nube”) es posible, realizar potentes análisis sobre grandes superficies muy útiles a la hora de obtener información complementaria para nutrir a la cartografía forestal generada por la DNDFI (Gaute et al., 2019).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales utilizadas se obtuvieron de colecciones de imágenes satelitales Sentinel-2, las cuales fueron procesadas mediante la plataforma de procesamiento Google Earth Engine. Las imágenes Sentinel-2 ópticas utilizadas comprenden el periodo desde el primero de febrero hasta mediados de abril de 2022, y se obtienen de la colección “COPERNICUS/S2_HARMONIZED”. Estas imágenes, cuentan con correcciones atmosféricas necesarias para este tipo de investigación. Además poseen un filtrado por nubosidad, por lo que se utilizaron imágenes con menos de 1 % de nubes. Las bandas utilizadas, con su respectiva longitud de onda, fueron: B1 (443,9 nm / 442,3 nm), B2 (496,6 nm / 492,1 nm), B3 (560 nm / 559 nm), B4 (664,5 nm / 665 nm), B5 (703,9 nm / 703,8 nm), B6 (740,2 nm / 739,1 nm), B7 (782,5 nm / 779,9 nm), B8 (835,1 nm / 833 nm), B8A (864,8 nm / 864 nm) y B11 (1613,7 nm / 1610,4 nm), todas estas de alta resolución espacial (entre 10 y 60 metros).

Procesamiento de clasificación

Para iniciar el proceso de reconocimiento, en una primera etapa, se determinaron cuáles eran las especies y los géneros de mayor relevancia para cada uno de los departamentos analizados (Eldorado, Santo Tomé y Colón), sobre la base de información estadística disponible en la DNDFI. Una vez que se definieron estas especies se generó, en Google Earth Engine (GEE), un determinado número de “polígonos de entrenamiento” para cada una de estas especies priorizadas, seleccionando para entrenar solo aquellas plantaciones con más de tres años de existencia, en las cuales las imágenes Sentinel-2 descargadas permitieron distinguir la presencia de cobertura verde. Cada uno de estos polígonos se asoció a una tabla de atributos y se le otorgó un valor categórico de “Cobertura de suelo”. Los distintos grupos de polígonos de entrenamiento se discriminaron entre sí, por el valor de cobertura de suelo asignado a cada uno de estos. Todos los grupos de polígonos generados fueron unidos en una misma colección denominada “newfc”, la cual fue posteriormente utilizada para clasificar utilizando como criterio de clasificación, el valor de la propiedad “Cobertura de suelo” asignado previamente. Además, en las imágenes satelitales a procesar, se generaron máscaras (áreas que no fueron consideradas en el análisis) para zonas con productividades bajas (valores de índice de vegetación - NDVI menores a 0,6) y zonas afectadas por incendios, a fin de disminuir posibles errores de comisión



del producto obtenido por el clasificador. Para realizar el filtrado por NDVI se consideró dejar aquellas zonas cuyos valores se corresponden con bosques de alta densidad (Zaitunah et al., 2018).

Luego de realizar el entrenamiento, se procedió a clasificar la superficie forestal de los departamentos de interés mediante el algoritmo de clasificación smileRandomForest, un derivado del clasificador Random Forest (RF). Este último es un algoritmo de clasificación supervisada, que produce clasificaciones utilizando un conjunto de árboles de decisión, pudiendo emplear distintas variables para discriminar entre las clases objetivo y obtener una predicción (Belgiu et al., 2016). Resulta importante definir entonces el número de árboles de decisión (Ntree) que se generaran, y las variables que el algoritmo tendrá en cuenta para realizar la clasificación (Mtry), siendo más sensible la clasificación al parámetro Mtry (Belgiu et al., 2016). Las muestras utilizadas para el entrenamiento deben cumplir con algunos requisitos. Los datos utilizados para muestras y para validaciones deben ser independientes entre sí, las muestras deben ser representativas del objeto a clasificar y ser lo suficientemente grandes para adaptarse al creciente número de dimensiones de datos que el algoritmo deberá analizar (Belgiu et al., 2016). En este caso se calibró para que presente 30 árboles de entrenamiento. Así, se agruparon aquellos píxeles que tienen características similares con respecto a su reflectancia en las bandas utilizadas, dentro del rango de grupos sobre los cuales buscamos que el algoritmo discriminara.

Como fuente de información para entrenamiento y validación se utilizó la cartografía de las plantaciones forestales generada por la DNDFI y los relevamientos realizados a campo. Esto nos permitió contar con muestras de entrenamiento objetivas, para entrenar al algoritmo de clasificación supervisada, y relevamientos realizados especialmente para ser utilizados como muestras de validación, en proporciones acordes y representativas con la dimensión forestal de los departamentos a validar. Se separaron al azar los puntos de entrenamiento anteriormente generados, 70 % de los datos fueron utilizados para el proceso de clasificación y 30 % de los datos fueron utilizados como muestras de validación.

Procesamiento de validación

El algoritmo corrobora que la clasificación realizada sobre los píxeles de los polígonos de validación se corresponda con el valor de cobertura de suelo otorgado. Las herramientas utilizadas para corroborar la eficiencia de la clasificación son dos: una matriz de confusión y un test de precisión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 podemos observar el resultado la validación de la clasificación del departamento de Colon, Entre Ríos. En este caso las clases fueron *Pinus taeda*, *P. elliotii*, *Eucalyptus grandis*, *E. dunnii*. La matriz de confusión nos indica que cantidad de píxeles fueron clasificados en la clase que les corresponde y que cantidad fue clasificado sobre una clase incorrecta. Así, por ejemplo, del total de los píxeles de validación para *P. taeda*, 175 píxeles fueron clasificados correctamente pero 46 fueron clasificados como *P. elliotii*, 4 como *E. dunnii*. Teniendo en cuenta los datos de validación para todas las clases se obtiene un test de precisión de la validación, siendo en este caso de 91 %.

Cuadro 1: Matriz de confusión generada para cinco clases del departamento de Colon, Entre Ríos.

Clases	<i>P. taeda</i>	<i>P. elliotii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>
<i>P. taeda</i>	175	46	0	4
<i>P. elliotii</i>	60	207	1	3
<i>E. grandis</i>	1	1	1042	8
<i>E. dunnii</i>	1	3	33	105

En el Cuadro 2 se presenta la matriz de confusión obtenida para el departamento de Eldorado, en la cual se obtuvo un resultado de 75,5 % en el test de precisión. Se evidencia que el mayor error se encuentra al distinguir *P. taeda* de *P. elliotii*. Por otro lado, en el Cuadro 3, se observa la matriz de confusión para el departamento de Santo Tomé. En este caso el resultado del test de precisión dio 93,1 %.



Cuadro 2: Matriz de confusión generada con datos de validación para el departamento de Eldorado, Misiones.

Clases	<i>P. taeda</i>	<i>P. elliottii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>A. angustifolia</i>
<i>P. taeda</i>	1257	719	0	125
<i>P. elliottii</i>	0	0	0	0
<i>E. grandis</i>	41	0	1216	6
<i>A. angustifolia</i>	0	0	0	107

Cuadro 3. Matriz de confusión generada con datos de validación para el departamento de Santo Tomé.

Clases	<i>P. taeda</i>	<i>P. elliottii</i>	<i>E. grandis</i>
<i>P. taeda</i>	23428	2855	96
<i>P. elliottii</i>	840	8742	46
<i>E. grandis</i>	30	2	19995

En próximos trabajos se espera extender la clasificación a otras provincias y aumentar el rango de especies a discriminar, evaluando también la posibilidad de distinguir híbridos de especies. Para poder compartir el mapa de distribución espacio temporal de especies forestales cultivadas, con el sector foresto industrial se generó una App con la misma plataforma de procesamiento (GEE). De este modo cualquier usuario puede acceder al mapa de distribución de especies forestales para las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos.

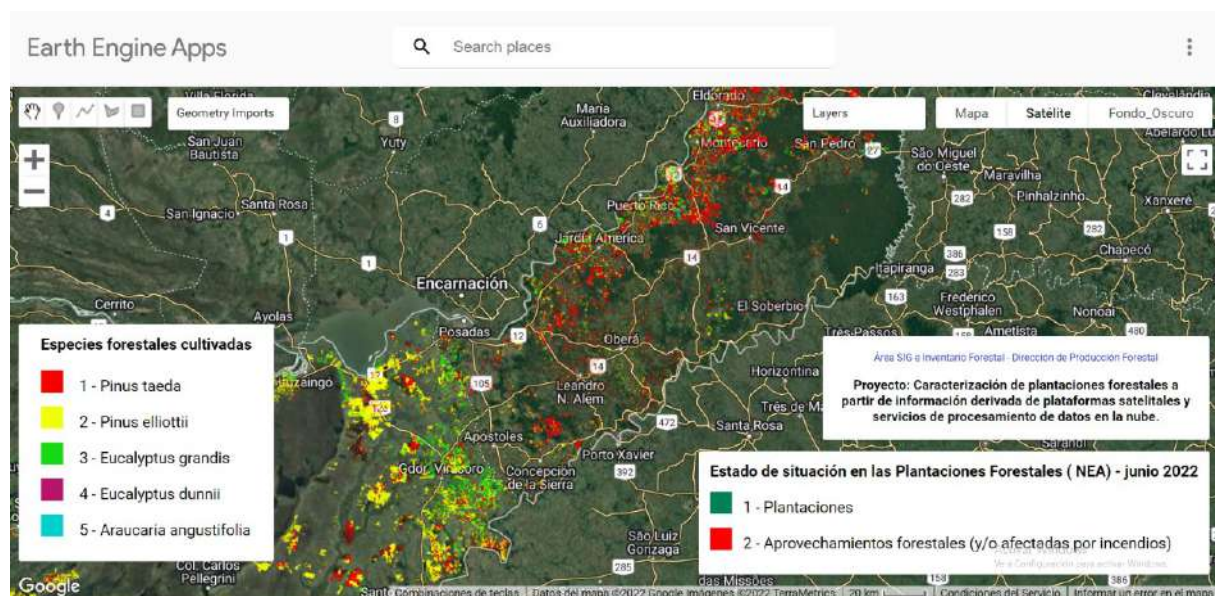


Figura 1. Mapa de distribución de especies forestales para las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos. App: https://bit.ly/plantaciones_forestales_2020_2022

4. CONCLUSIONES

A partir de la metodología desarrollada en el presente trabajo, se han podido identificar las especies forestales implantadas en las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos, utilizando información espectral del satélite Sentinel-2 y el algoritmo de clasificación smileRandomForest a través de Google Earth Engine. Los resultados del test de precisión muestran una buena correlación de la clasificación con las muestras definidas para validar. Además, el algoritmo permitió identificar rodales forestales que no habían sido digitalizados previamente y no estaban cartografiados, demostrando ser una potencial herramienta para la discriminación e identificación de especies forestales. Sin embargo, existen diversos factores que pueden afectar la eficiencia de la clasificación como la cantidad de variables y el número de árboles que tendrá en cuenta el clasificador, el número de muestras que se tomen de cada clase, la época del año y el estado fenológico de los individuos a analizar, entre otros. La precisión y la calidad de la clasificación dependen fuertemente de la correcta determinación de dichos factores.



5. LITERATURA CITADA

- BELGIU, M., & DRĂGUȚ, L. 2016. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 114, 24-31.
- BORRÀS, J., DELEGIDO, J., PEZZOLA, A., PEREIRA-SANDOVAL, M., MORASSI, G., & CAMPS-VALLS, G. 2017. Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección* 48: 55-66.
- GALARCO, S. P., & RAMILO, D. I. (2020). Plantaciones forestales en Argentina. Libros de Cátedra.
- GAUTE, M., BENÍTEZ, R. FASSOLA, H.; BOCA, T., ANDENMATTEN, E.. 2019. Caracterización de plantaciones forestales a partir de información derivada de plataformas satelitales y recursos informáticos de alto rendimiento". XVIII JOTEFA. Misiones. <https://www.jotefa.com.ar/>
- HOFFER, R. M., & JOHANNSEN, C. J. (1969). Ecological potentials in spectral signature analysis. *Remote sensing in ecology*, 1-16.
- Mapa de Plantaciones Forestales de Actualización Permanente. Área SIG e Inventario Forestal. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. 2022.
- PEREZ, C., & MUÑOZ, A. L. (2002). Teledetección: nociones y aplicaciones. ISBN 84-607-5018-3.
- RUJOIU-MARE, M. R., OLARIU, B., MIHAI, B. A., NISTOR, C., & SĂVULESCU, I. 2017. Land cover classification in Romanian Carpathians and Subcarpathians using multi-date Sentinel-2 remote sensing imagery. *European Journal of Remote Sensing* 50(1): 496-508.
- SEGARRA, J., BUCHAILLOT, M. L., ARAUS, J. L., & KEFAUVER, S. C. 2020. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy* 10(5): 641.
- SOBRINO, J. A. 2001. Teledetección. Universitat de Valencia.
- TURNER, W., SPECTOR, S., GARDINER, N., FLADELAND, M., STERLING, E., & STEININGER, M. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in ecology & evolution* 18(6): 306-314.
- ZAITUNAH, A., AHMAD, A. G., & SAFITRI, R. A. (2018, March). Normalized difference vegetation index (ndvi) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 126, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.



ESTUDIO DE LOS INCENDIOS OCURRIDOS EN LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA ENTRE DICIEMBRE DEL AÑO 2021 A MARZO DEL AÑO 2022

Andrés Alejandro LESZCZUK¹, Damian LORÁN², Micaela Evelin MARTINEZ³, Jesús Emmanuel LEIZICA⁴, Santiago SEPPI⁵

RESUMEN

Los incendios son fenómenos globales que afectan entre 200 a 500 millones de hectáreas anualmente, perjudicando grandes superficies y diversos biomas desde los trópicos hasta las regiones boreales. Conocer y cuantificar la superficie de las zonas afectadas por los incendios permite definir áreas de monitoreo tendientes a ser restauradas. En este trabajo se describe una metodología para cuantificar las coberturas de suelo afectadas por incendios en la provincia de Misiones durante el periodo de diciembre 2021 a marzo 2022 mediante la utilización de productos de sensores satelitales. El estudio se basó en la comparación de índices de vegetación obtenidos para fechas pre y post-incendio obteniendo un indicador de severidad de incendios a partir de imágenes del espectro óptico en combinación con detecciones de focos de calor del espectro térmico. Los resultados demostraron que fue posible cuantificar la superficie afectada siendo de aproximadamente 19 968 ha, de las cuales el bosque nativo y las forestaciones fueron las más afectadas por los incendios (91,6 % de la superficie afectada).

Palabras clave: *AFRI, NEA, índices espectrales, Google Earth Engine, MapBiomas*

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios en ambientes forestales/rurales son una problemática en todo el mundo, causando perjuicios ambientales, económicos e incluso pérdidas humanas. Se estima que anualmente se queman entre 200 a 500 millones de hectáreas afectando a diferentes biomas en todo el mundo (Montealegre et al., 2014). En Sudamérica, la mayor superficie afectada por el fuego está situada en torno a la selva del Amazonas, en Brasil, donde el cambio del uso del suelo mediante la tala-rasa y quema es una metodología frecuentemente utilizada para disponer de suelo para la agricultura, y las emisiones de gases por la quema son capaces de causar problemas en territorios transfronterizos. Argentina no está exenta de ésta problemática y es por este motivo que los incendios forestales están contemplados dentro del programa de gestión de emergencias ambientales mediante información satelital que lleva adelante la Comisión Espacial de Actividades Espaciales (CONAE).

En la provincia de Misiones, Argentina, entre los meses de diciembre de 2021 y marzo de 2022 grandes extensiones de la "Selva Paranaense" fueron afectadas por incendios. A pesar de ser un ecosistema con abundantes precipitaciones, entre 1600-2200 mm anuales (Silva y Olinuck, 2019), las condiciones de sequía durante los años 2020 y 2021 propiciaron de catalizadores para la propagación de grandes áreas afectadas por el fuego, las cuales fueron en su mayoría zonas de bosques nativos (caso del incendio en la Reserva de Uso Múltiple Guaraní) y forestaciones con especies implantadas (*Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.* entre otras), y en menor consideración se vieron afectadas zonas agrícolas y campos de pasturas. Las regiones más afectadas fueron en el centro y norte de la provincia, en los departamentos de San Martín, Guaraní, Montecarlo e Iguazú. A pesar de que existen reportes parciales de las superficies afectadas en estos departamentos no se sabe con certeza cuáles fueron los recursos

¹ Esp. Ing Ftal., Facultad de Ciencias Forestales (UNaM) - CONICET. Contacto: leszczukandresalejandro@gmail.com

² Ing Ftal., Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Contacto: damian.loran@fcf.unam.edu.ar

³ Mgter. Ing Ftal., Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Contacto: micaela.martinez@fcf.unam.edu.ar

⁴ Ing RRNN y MA., Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Contacto: emmanuel.leizica@ig.edu.ar

⁵ Mgter. Lic. Geog., Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Contacto: sseppi@conae.gov.ar



mayormente afectados ni la superficie total afectada por los incendios en dicho periodo (Reporte diario de incendios <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/fuego/reporte-diario-manejo-del-fuego>).

La detección de áreas quemadas, focos de calor, severidad de incendios son algunos ejemplos de las aplicaciones de los sensores remotos en el estudio de incendios ambientales. Tal es así, que a partir de información obtenida de satélites es posible obtener información biofísica de un área antes, durante y después de la ocurrencia de un incendio, lo cual permite realizar un seguimiento de los cambios ocurridos. Por ejemplo, la constelación de satélites TERRA y AQUA, equipados con el sensor MODIS, permite realizar 4 tomas diarias de un mismo lugar, y de esta forma se obtiene una secuencia de observaciones con el mismo sensor. Por otra parte, los satélites Suomi NPP y NOAA 20 también son muy utilizados en el monitoreo de los incendios mediante el sensor VIIRS (Schueler et al., 2013). Desde la disponibilidad de las primeras imágenes satelitales, la comunidad científica ha desarrollado índices de vegetación mediante la combinación de diferentes regiones del espectro electromagnético que permiten determinar el estado y la dinámica de las comunidades vegetales. El índice de vegetación libre de aerosoles (AFRI, por sus siglas en inglés), posee ventajas respecto al NDVI, porque en su ecuación utiliza la banda espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) en lugar del rojo visible (Karnieli et al., 2001). Al ser la longitud de onda del SWIR mayor a la del rojo, no interactúa con el humo de la quema de biomasa y por lo tanto el AFRI puede proveer de información en momentos en que la atmósfera se encuentra contaminada por los aerosoles (Ben- Ze'ev et al., 2006). El valor 0,5 es una constante empírica que correlaciona la banda SWIR y la roja del visible (Salvoldi, et al., 2020).

El objetivo del presente estudio fue delimitar las áreas y las coberturas quemadas en la provincia de Misiones, Argentina, durante el verano de 2021-2022. Las coberturas fueron determinadas a partir de datos obtenidos de MapBiomias Bosque Atlántico Trinacional (Souza et al., 2020; <https://bosqueatlantico.mapbiomas.org/es>). Por otro lado, se realizó una evaluación de las zonas afectadas por los incendios mediante el cruzamiento con datos de focos de calor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio: el área de estudio comprende la provincia de Misiones (Figura 1). De acuerdo al Sistema Americano de Clasificación (USDA, 1961), los suelos de la provincia poseen características físico-químicas y biológicas que permiten ser clasificados mayormente en suelos con aptitud agrícola o forestal. La vegetación nativa es representada por comunidades pertenecientes a la región fitogeográfica Selva Paranaense o selva pluvial caducifolia en el que se distinguen dos zonas: “Las selvas Mixtas” y “Los Campos” (Cabrera, 1976). Según Oyarzabal et al. (2018) la describe como Selva Pluvial Semicaducifolia, en la que se visualiza tres estratos arbóreos, con lianas, epífitas y hemiepífitas, y un sotobosque de helechos y fanerófitas herbáceas y arbustivas, incluidas las Bambuseas. También existen áreas forestadas con fines de obtener productos forestales maderables. El clima es cálido y húmedo, con precipitaciones uniformes durante todo el año y varían entre 1500 mm en el sur de la provincia y 900 mm en el norte. La temperatura media anual es de aproximadamente 20 °C y las temperaturas máximas pueden alcanzar los 40 °C. Si bien las sequías son poco frecuentes por poseer un régimen pluviométrico isohigro (Silva y Olinuck, 2019), periodos secos como los ocurridos durante el 2021-2022, sumado a las elevadas temperaturas de la estación de verano, elevan los riesgos de ocurrencia de incendios forestales.

Delimitación de área quemada: para el procesamiento se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE) y el software QGIS versión 3.22. Mediante GEE se utilizó un script (adaptado del script de UN-SPIDER “Burn Severity Mapping”, www.un-spider.org) para el mapeo de severidad de incendio utilizando el índice AFRI (ecuación 1). El índice fue aplicado a dos mosaicos de imágenes Sentinel-2 antes (fechas entre 15/11/2021 y 05/12/2021) y después (fechas entre 21/03/2022 y 26/04/2022) de los incendios ocurridos en la provincia de Misiones. Luego se calculó la diferencia del índice AFRI (pre y post incendio) para obtener el diferencial de AFRI (dAFRI) en el que se refleja los cambios en la vegetación provocados por el fuego y por lo tanto permitió visualizar y delimitar las áreas quemadas. Al buscar un umbral para diferenciar áreas quemadas con dAFRI se observó que este mostraba una sensible diferencia según sea la cobertura que fue afectada, no hallándose un umbral razonable para



la variedad de coberturas afectadas en el área de estudio que van desde pasturas bajas hasta selva. Esta diferencia daba como efecto que un valor de umbral que delimita razonablemente las áreas quemadas diera también como resultado una considerable cantidad de ‘falsos positivos’ que sobreestiman las áreas quemadas al incluir cuerpos de agua y considerable cantidad de áreas de suelo desnudo por prácticas de tala-rasa. Por este motivo, se añadieron al análisis los focos de calor detectados por satélites (Figura 1) para sumar al dAFRI un factor que ponderó las áreas donde hubo detecciones de focos de calor y reducir así los errores.

$$AFRI = (\rho_{NIR} - 0,5 \rho_{SWIR}) / (\rho_{NIR} + 0,5 \rho_{SWIR}) \quad \text{ecuación (1)}$$

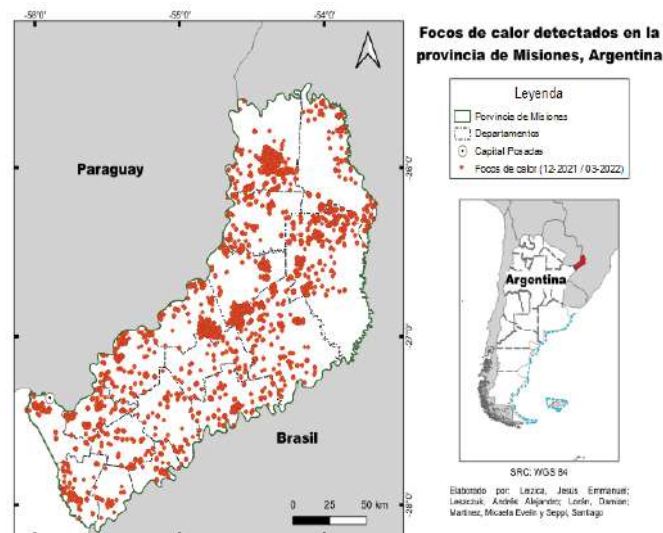


Figura 1. Focos de calor detectados en la provincia de Misiones, para el periodo 12-2021/03-2022.

Focos de calor: fueron obtenidos del sitio Queimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br>), entre las fechas 06/12/2021 y 20/03/2022 (Figura 1). Se utilizaron los focos de calor detectados por AQUA_M-M, AQUA_M-T, METOP-B, METOP-C, NOAA-18, NOAA-19D, NOAA-20, NPP-375, NPP-375D, TERRA_M-M y TERRA_M-T, con los que se generó un mapa de calor (densidad de núcleo o focos de calor), considerando un radio de 500 m que es un valor intermedio entre los píxeles que originan los focos de calor de VIIRS y MODIS que van desde 350 y 750 m. El mapa resultante fue normalizado a valores entre 0 y 1, para equipararlo al rango de valores del dAFRI, para luego ser sumado al ráster dAFRI (que varía entre -1 y 1) para finalmente ser umbralizado.

Umbralizado: se definió un umbral de 0,41 para dAFRI, luego se aplicó un filtro para eliminar áreas muy pequeñas (menores a 3 píxeles) y evitar aquellas superficies pequeñas que no eran significativas para el objetivo del trabajo y que en gran medida podrían deberse a otros fenómenos o errores debidos a la resolución espacial de la imagen. Mediante la aplicación de una máscara a partir de QGIS, se generó un nuevo ráster binario donde “1” representa las zonas que fueron afectadas por incendios y “0” las que no fueron afectadas. El ráster de áreas quemadas fue convertido a polígono y las superficies se compararon con imágenes RGB de Planet y Google satellite e imágenes Sentinel posterior al incendio (marzo de 2022), con una combinación RGB de las bandas 4-8-2.

Evaluación de la precisión: Para evaluar el resultado de la delimitación de áreas afectadas por incendios se realizó una evaluación de la precisión de la estimación de las áreas quemadas. El muestreo se realizó en 2 instancias: 15 muestras circulares de 10 km de diámetro, al azar sobre toda la provincia, donde es esperable que la mayoría no coincidan con las principales áreas quemadas, dado que estas son una porción muy menor del territorio. Este muestreo tuvo el objetivo de evaluar principalmente la existencia de áreas no detectadas y detecciones erróneas. Y en segunda instancia, 10 muestras circulares de 10 km de diámetro, al azar coincidiendo con áreas quemadas detectadas significativas, mayores a 10 ha (aprox. el 50 % de las áreas detectadas). Este muestreo tuvo como principal objetivo evaluar el grado de acierto de la detección de áreas quemadas.



Análisis de las áreas afectadas según cobertura del suelo: A partir de las áreas afectadas por el fuego se realizó un geoproceso de recorte entre la capa resultante y la clasificación de coberturas del suelo provista por MapBiomias en GEE. El objetivo de este análisis fue determinar qué tipos de coberturas del suelo fueron las más afectadas por los incendios.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la delimitación de áreas quemadas: la superficie detectada como afectada por los incendios, en el período bajo estudio fue de 19 968 ha, obtenidos a partir de dAFRI generado con imágenes Sentinel 2, y modificado mediante la adición del mapa de densidad de focos de calor, para todo el territorio de la provincia de Misiones.

Evaluación de precisión: la evaluación de la precisión, arrojó los resultados que se detallan en la Cuadro 1, donde se aprecia que la metodología empleada detectó un 81 % de la superficie afectada por incendios.

Cuadro 1. Resultados de la evaluación de la delimitación de áreas quemadas.

Áreas	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Área quemada	4104	100
Detectadas	3306	81
No detectada	798	19
Falsos positivos	308	8

Análisis de las coberturas afectadas: a partir de las clasificaciones obtenidas de MapBiomias Bosque Atlántico (2019) se determinó que el bosque nativo y las plantaciones forestales fueron las coberturas cuyas superficies fueron las más afectadas y representaron 72,9 % y 18,7 % respectivamente del total (Figura 2, Cuadro 2). Además, se determinó que 1155 ha de cultivos perennes y mosaicos de agricultura fueron afectados por los incendios, siendo un 5,7 % de la superficie afectada.

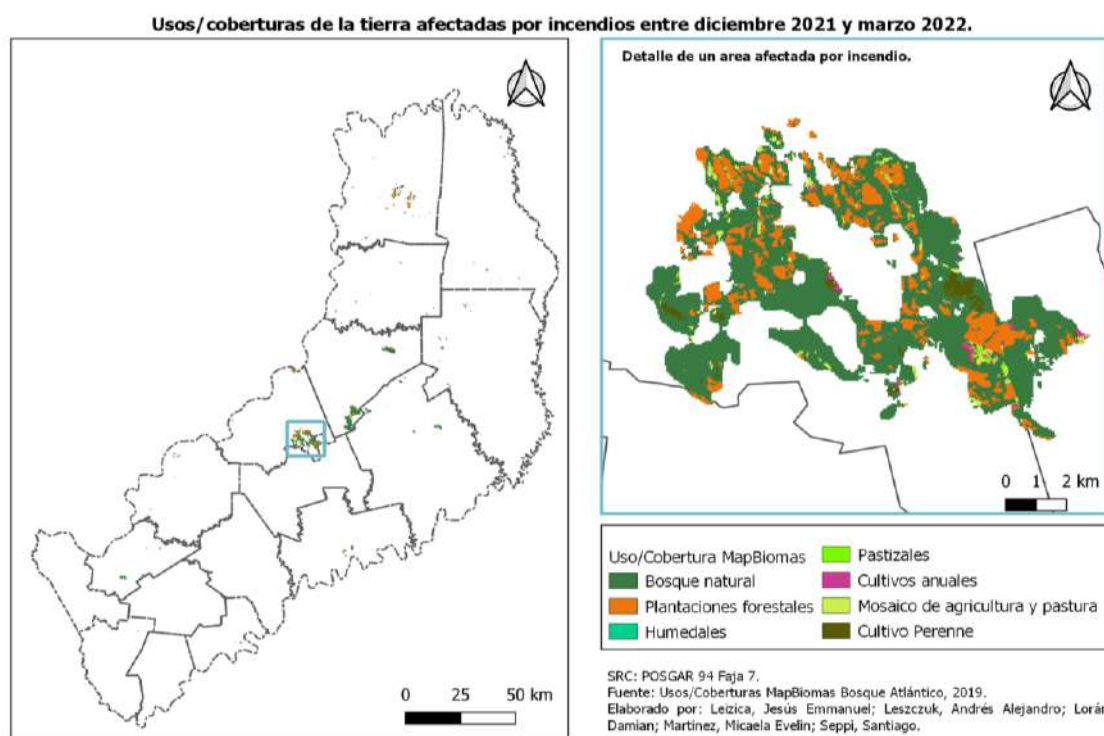


Figura 2. Mapa de los usos/coberturas afectadas por incendios. A la izquierda se presenta a escala general para la provincia de Misiones. A la derecha se muestra un detalle de un área afectada en Colonia Carril.



Cuadro 2. Superficie de diferentes coberturas de suelos afectadas por los incendios, ocurridos entre los meses de diciembre de 2021 a marzo de 2022 en la provincia de Misiones.

Cobertura	Superficie afectada (ha)	Superficie afectada (%)
Bosque nativo	14.515	72,9
Plantaciones forestales	3.754	18,7
Cultivo perenne	623	3,1
Chacra, mosaico de agricultura	532	2,6
Área no vegetada	326	1,6
Cultivos Anuales	140	0,7
Pastizales	54	0,3
Otros	23	0,1
Total	19.968	100

4. CONCLUSIONES

Fue posible cuantificar la superficie afectada utilizando la combinación de índices espectrales obtenidos de sensores pasivos en conjunto con datos de focos de calor, con un grado de certeza satisfactorio. La superficie afectada por los incendios ocurridos en el verano de 2021-2022 en la provincia de Misiones fue de 19 968 ha, de las cuales el 91,6 % corresponden a coberturas arbóreas (bosque nativo y plantaciones forestales) y 5,7 % a zonas con cultivos agrícolas y perennes.

La estimación de la severidad de la afectación por incendio partiendo de índices de vegetación, como el AFRI, y la diferencia de los mismos en condiciones previas y posteriores a eventos de fuegos, pueden ser de gran utilidad a la hora de determinar superficies afectadas por incendios. Sin embargo, las limitaciones se hicieron notar al querer aplicarlos de manera semiautomatizada a una superficie compleja, en cuanto a usos/coberturas, como lo es la provincia de Misiones. El índice utilizado, por sí solo, presenta limitaciones en su aplicación a superficie con gran variabilidad de usos y coberturas dado el error de estimación que genera esta condición ambiental, siendo necesario complementar su aplicación mediante el empleo de otros parámetros como la densidad de detecciones de focos de calor para reducir dicho error de estimación.

5. LITERATURA CITADA

- BEN-ZE'EV, E.; KARNIELI, A.; AGAM, N.; KAUFMAN, Y.; HOLBEN, B. 2006. Assessing vegetation condition in the presence of biomass burning smoke by applying the Aerosol-free Vegetation Index (AFRI) on MODIS images. *International Journal of Remote Sensing* 27:15, 3203-3221. DOI: 10.1080/01431160500177380.
- CABRERA, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Pp. 1-85 en W. F. Kugler (ed.). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Tomo 2. 2da edición. Acme, Buenos Aires, Argentina
- KARNIELI, A.; KAUFMAN, Y. J.; REMER, L.; WALD, A. 2001. AFRI — aerosol free vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, Volume 77 (1):10-21, ISSN 0034-4257.
- MONTEALEGRE, A. L.; LAMELAS, M. T.; TANASE, M. A.; DE LA RIVA, J. 2014. Forest fire severity assessment using ALS Data in Mediterranean Environment. *Remote Sensing* 6: 4240-4265. DOI: 10.3390/rs6054240.
- SALVOLDI, M.; SIAKI, G.; SPRINTSIN, M.; KARNIELI, A. 2020. Burned Area Mapping Using Multi-Temporal Sentinel-2 data by Applying the Relative Differenced Aerosol-Free Vegetation Index (RdAFRI). *Remote sensing*, Volume 12, Issue 17, ISSN 2072-4292, DOI: 10.3390/rs12172753
- SCHUELER, C. F.; LEE, T. F.; MILLER, S. D. 2013. VIIRS constant spatial-resolution advantages, *International Journal of Remote Sensing*, 34:16, 5761-5777, DOI:10.1080/01431161.2013.796102
- SILVA, F.; OLINUK, J. A. 2019. Tendencias de las precipitaciones anuales en noreste de Argentina. XXIII Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos. Asociación Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro). Foz de Iguazú, Brasil. 24 al 28 de noviembre de 2019. ISSN 2318-0358.
- SOUZA, C. M.; Z SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; A ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F.; AZEVEDO, T. 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing* 12(17), 2735
- OYARZABAL, M.; CLAVIJO, J.; OAKLEY, L.; BIGANZOLI, F.; TOGNETTI, P.; BARBERIS, I.; MATURO, H. M.; ARAGÓN, R.; CAMPANELLO, P. I.; PRADO, D.; OESTERHELD, M.; LEÓN, R. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28:040-063. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>



EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE NAVEGADORES DE POSICIONAMIENTO SATELITAL BAJO LA COBERTURA ARBÓREA EN DIFERENTES MANEJOS SILVÍCOLAS

Martin O. ORONA¹, Alejandro U. WAIDELLISCH², Vanesa B. MANGEON³

RESUMEN

En esta investigación se busca determinar las precisiones y exactitudes de 4 diferentes receptores de la marca Garmin, en 3 situaciones distintas de manejo. Los rodales de *Pinus taeda* elegidos para el presente trabajo están ubicados en el departamento de Eldorado, provincia de Misiones. Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) y a partir de las coberturas de los rodales, se generó una grilla de puntos con una distribución de 141 m x 141 m para localizar las parcelas de inventario y una grilla de puntos de 50 m x 50 m, para realizar la evaluación de precisión de los navegadores, de dicha grilla se seleccionaron dos puntos a medir, de manera aleatoria. Se observó que existe una relación entre el error de los navegadores y la densidad de la masa arbórea, el cual aumenta cuando la densidad del rodal es mayor. En base a los valores de la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RCEMC) y el error circular probable (ECP) se determinó la precisión de los navegadores estudiados; resultando el siguiente orden, de menor a mayor error: Etrex 20, Map 64, y en tercer lugar el Map 62 y el Montana 650.

Palabras claves: *gps, error circular probable, error medio cuadrático, error de multitrayectoria*

1. INTRODUCCION

Con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) o a través del sistema global de navegación por satélites (GNSS) se determina en forma precisa, la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra teniendo éste las componentes X, Y, Z, bajo un sistema de referencia establecido a nivel mundial (WGS 84). Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema, un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles:

-Error en la atmósfera: una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionósfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la tropósfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes (Gutovnik, 2001).

-Errores de satélites: aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, no pueden ser monitoreados constantemente. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo (Gutovnik, 2001).

-Ángulos de los satélites: en la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto. (Gutovnik, 2001). Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error respecto de una posición. En la actualidad este tipo de error se ha mejorado con los nuevos navegadores de 12 y 20 canales con los cuales se receptiona al mismo tiempo las señales de todos los satélites (hasta 12) que están en el hemisferio celeste en ese momento.

-Interferencia "Disponibilidad Selectiva S/A" (Solo para el sistema GPS, no afecta a GLONASS):

¹ Docente en Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales, Calle Bertoni 124, Eldorado, Misiones, Argentina.

² Profesional independiente, Ingeniero Forestal

³ Estudiante en Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales, Calle Bertoni 124, Eldorado, Misiones, Argentina.



constituye la mayor fuente de error y es introducida deliberadamente por el estamento militar; a partir del año 2000 dejó de aplicarse de forma permanente, sin embargo el Departamento de Defensa de los EE.UU se reservan el derecho de implementarlo en cualquier momento o lugar sin previo aviso (Mancebo- Quintana, 2004).

-Interferencias eléctricas imprevistas: las interferencias eléctricas pueden ocasionar correlaciones erróneas de los códigos pseudo - aleatorios o un redondeo inadecuado en el cálculo de una órbita.

-Error de multitrayectoria (multipath): esto se debe a señales reflejadas que se superponen a la señal directa y son siempre más largas, ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. El efecto multipath depende de la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, las medidas de fase se verán menos afectadas que las medidas de código, donde el efecto multipath puede alcanzar hasta el nivel de metros (Reuter, 2001).

El efecto del dosel forestal sobre las señales de radio ha sido muy estudiado, destacando el estudio de centrado en los efectos de la multitrayectoria en receptores GPS (Koh y Sarabandi, 2002). Según estos autores, bajo los árboles, se generan múltiples réplicas de las ondas emitidas por los satélites, lo que se traduce en grandes errores posicionales en los receptores. La relación de la precisión y la cobertura arbórea presenta un patrón más claro, aunque también presenta una excesiva variabilidad. El factor más determinante de los considerados (área basal, altura y densidad) fue el área basal con claras excepciones (Mancebo- Quintana, 2004). La cobertura arbolada influye de manera directa en las observaciones realizadas bajo la misma (peor exactitud y peor precisión) y que operando en una misma especie según sus características forestales la importancia de las variables satelitales será diferente en función de las condiciones de trabajo para el cálculo de la posición. Cuanto mayor es el diámetro menor es el número de árboles, con lo que se mejoran las exactitudes (Blanco Vazques et al., 2012). Las variables dasométricas que más afectan a la exactitud planimétrica son el número de pies por ha (N) y el diámetro medio cuadrático (dg). En general, a medida que aumenta la densidad de la masa, los valores de las exactitudes disminuyen, mientras que mayores valores de diámetro medio cuadrático (que indican masas adultas con baja espesura) se corresponden mayores valores de exactitud (Lopez et al., 2010).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área bajo estudio: el lugar donde se realizaron las diferentes tomas de datos, corresponde al Departamento de Eldorado provincia de Misiones, donde se evaluaron distintos rodales de *Pinus taeda* con diferentes manejos silvícolas, a fin de comparar el efecto de este factor sobre el error de los navegadores.

Descripción de los rodales: Rodal 1: cuenta con una superficie de 8,75 ha, con un raleo sistemático y selectivo en los líneas, la altura de poda promedio es de 3,50 m y cuenta con una densidad actual de 377 plantas/ha. Rodal 2: presenta una superficie de 10,6 ha, es el rodal más denso de los seleccionados con 1033 plantas/ha, en la cual no se han realizado raleos, sin embargo cuenta con una intervención de poda de 2,40 m de altura. Rodal 3: es el de menor superficie siendo esta de 2,7 ha, cuenta con intervenciones de raleo y poda. En la actualidad cuenta con 92 plantas/ha, un segundo raleo y una altura de poda de 4,50 m.

Selección de puntos para análisis de los navegadores: en cada rodal seleccionado se realizó una grilla de puntos de 50 m x 50 m mediante el software QGIS 2.18 con la herramienta puntos regulares; en dicha grilla de puntos se seleccionaron de forma aleatoria para cada rodal los puntos en estáticos utilizados a fines de la medición. Una vez seleccionados los puntos, se procedió a poner una estaca de reconocimiento en el campo.

Metodología de Medición: se seleccionaron 3 rodales con diferentes manejos, en cada rodal se seleccionaron 2 puntos en estático, los cuales se refieren a la determinación de un único trío de coordenadas (X, Y, Z). El número de posiciones o tamaño muestral se basó en la toma de un punto por cada segundo durante un tiempo de media hora; así los receptores almacenaron 1800 posiciones por cada punto muestral por cada día. Para el traslado al otro punto dentro del rodal se tomó un tiempo de



10 minutos y, entre rodales, de 20 minutos. En total en los dos días de medición se tomaron 21 600 posiciones por navegador. Los navegadores se situaron a 1,3 metros de altura, sobre una estructura de madera, de esta forma se simuló la altura que se lleva habitualmente el navegador.

Realización del Inventario: se realizó un inventario para determinar los datos dasométricos y silviculturales, el cual consistió en parcelas rectangulares de 600 m²

Descripción de los navegadores se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cuadro comparativo de los modelos utilizados.

Modelo	Precisión	Tipo de antena	Pantalla	Tarjeta Micro SD	Memoria Interna (GB)	Sistema
Map 64 st	(+/-3)	Helicoidal de cuatro hélices	Color	SI	4	GPS-GLONASS
Map 62s	(+/-7)	Helicoidal de cuatro hélices	Color	SI	1,7	GPS
Montana 650	(+/-3,65)	Plana	Color	SI	3	GPS
Etrex 20	(+/-3)	Plana	Color	SI	1,7	GPS-GLONASS

Metodología post-proceso: una vez obtenidos los tracks se procedió a la descarga en la computadora con el programa Basecamp de Garmin, se filtraron los datos en una hoja de cálculo; mediante la utilización del software QGIS 2.18 se transformaron los puntos de coordenadas geográficas a coordenadas planas con el sistema de proyección POSGAR 2007 faja 7 y así finalmente se procedió a realizar el análisis estadístico, el cual se realizó con el software InfoStat. A efectos que los resultados obtenidos puedan ser comparados con estudios similares, se emplearon las normas y estándares (NSSDA) para cartografía analógica y digital, los cuales también se aplican a datos colectados con receptores de posicionamiento satelital (GPS, GLONASS) (Orona y Andrade, 2015). Los datos obtenidos por las parcelas de inventario se procesaron, luego se calcularon los principales parámetros de ocupación y densidad de sitio para cada rodal. También se calculó la longitud de copa verde, la cual es un indicador del porcentaje de cobertura

Análisis estadístico: una vez obtenidos los datos para el cálculo del error que existe entre las coordenadas verdaderas y las coordenadas de los navegadores se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bar{e} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Otros indicadores utilizados según Normas NSSDA son: 1) ECP: se define como el radio de un círculo, el cual está centrado en la verdadera posición del punto y contiene el 50 % de los vectores del error. El ECP coincide muchas veces con el percentil 50 o con su mediana. 2) RCEMC: es la raíz cuadrada del error medio cuadrático, dado que esta captura tanto la magnitud como la variabilidad de las desviaciones de una serie de puntos de muestreo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Resultados del Inventario se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados del inventario

Rodal	Densidad actual (Arb/ha)	Dap medio (cm)	Área basal (m ² /ha)	Altura media (m)	Altura de poda (m)	Longitud de copa verde (km/ha)
1	377,00	24,90	18,86	18,10	3,50	5,48
2	1033,00	23,40	43,91	19,50	2,90	21,25
3	92,00	28,83	6,10	15,80	4,50	1,04

2. Resultados obtenidos de la medición de los navegadores teniendo en cuenta los parámetros de RCEMC y ECP al 90 %: el Cuadro 3 muestra el resumen del comportamiento de los navegadores en los dos días por cada punto de rodal, mediante indicadores de precisión como el error circular probable (ECP) al 90 % y la RCEMC. Los navegadores Map 62 son del mismo modelo, solo se agregó una inicial para saber a quién pertenece (C: Claudio y L: Loran).



Cuadro 3. Resumen de los Indicadores de precisión para los 5 navegadores, en los diferentes rodales.

Día	Punto	Navegador	Valores de RCEM			ECO 90 %		
			Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2
1	1	Map 64	5,04	6,70	7,80	7,10	14,80	11,00
		Etrex	2,27	6,37	4,22	3,90	8,30	6,65
		Map 62 C	3,81	8,56	15,89	8,15	23,53	11,10
		Map 62 L	1,57	4,60	15,09	2,80	8,50	22,30
		Montana 650	6,58	8,26	8,43	10,60	12,20	15,00
	2	Map 64	3,39	3,34	4,84	5,60	8,70	5,50
		Etrex	6,02	4,82	4,82	8,43	7,75	8,50
		Map 62 C	5,69	10,87	12,25	8,30	18,50	19,00
		Map 62 L	5,89	5,31	6,98	9,20	8,53	8,20
		Montana 650	4,45	6,96	7,04	10,50	11,30	12,58
2	1	Map 64	4,80	6,53	12,57	6,20	7,60	18,00
		Etrex	3,50	8,42	11,66	4,60	10,05	14,10
		Map 62 C	4,94	9,28	13,07	7,50	13,15	21,10
		Map 62 L	2,87	6,36	13,08	3,80	8,10	14,00
		Montana 650	5,69	10,60	14,03	9,10	16,50	20,80
	2	Map 64	2,50	5,25	5,57	4,30	7,50	10,50
		Etrex	5,11	2,37	6,15	6,70	3,90	8,15
		Map 62 C	3,34	4,31	8,97	5,83	7,55	15,50
		Map 62 L	4,37	4,02	5,54	5,25	6,70	7,90
		Montana 650	4,88	8,20	8,30	7,55	11,90	13,85
Promedio punto 1	Map 64	4,92	6,62	10,19	6,65	11,20	14,50	
	Etrex	2,89	7,40	7,94	4,25	9,18	10,38	
	Map 62 C	4,38	8,82	14,48	7,83	18,34	16,10	
	Map 62 L	2,22	5,48	14,09	3,30	8,30	18,15	
	Montana 650	6,14	9,43	11,23	9,85	14,35	17,90	
Promedio punto 2	Map 64	2,95	4,30	5,21	4,95	8,10	8,00	
	Etrex	5,57	3,60	5,49	7,57	5,83	8,33	
	Map 62 C	4,52	7,59	10,61	7,07	13,03	17,25	
	Map 62 L	5,13	4,67	6,26	7,23	7,62	8,05	
	Montana 650	4,67	7,58	7,67	9,03	11,60	13,22	

Se puede inferir con los resultados de la tabla 3, que hay una tendencia general a que los valores RCEMC de cada navegador aumentan a medida que es mayor la densidad de los rodales, esto se puede apreciar en el Figura 1, en el que se hizo un cálculo general de la RCEMC para cada navegador por rodal.

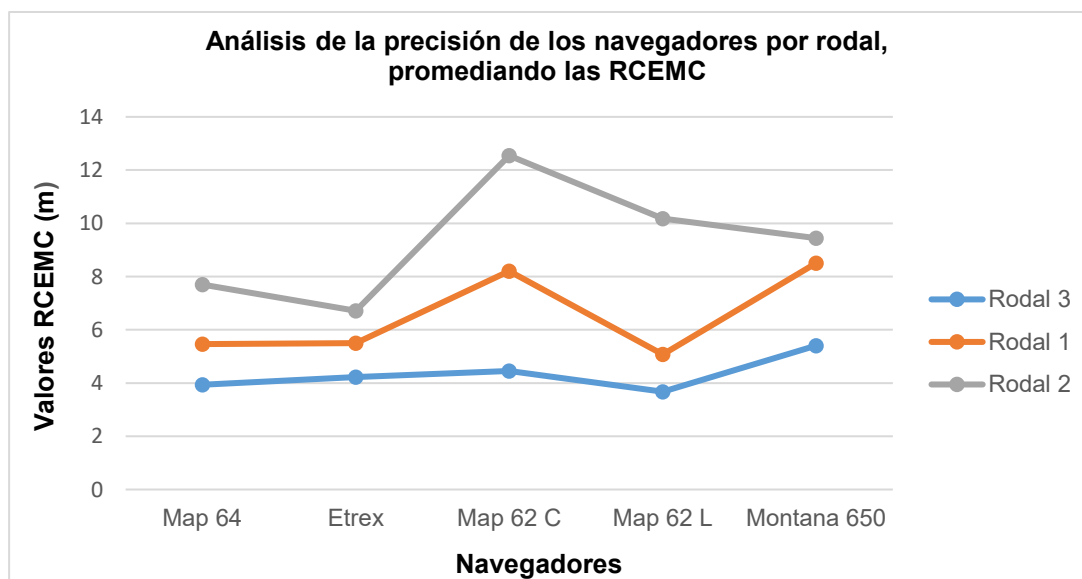


Figura 1. Gráfico de la precisión de los navegadores por rodal.



4. CONCLUSIÓN

Los análisis han puesto de manifiesto que la cobertura arbórea influye de manera directa en los datos tomados con los navegadores. A medida que aumenta la densidad disminuye significativamente la precisión y con esto se puede tener errores desde unos pocos metros a más de 20 m.

Se constató que un punto en estático no es representativo de la masa forestal y que el mismo varía de manera clara si tomamos diferentes puntos dentro de la masa arbórea.

En cuanto al navegador más preciso teniendo en cuenta la apreciación, análisis y los supuestos en que se desarrolló el experimento de los RCEMC y ECP 90 %, se llega a la conclusión que los navegadores de mejor desempeño fueron el Etrex 20 y el Map 64, y a la vez son los 2 navegadores que trabajan con el sistema GLONASS-GPS.

Considerando todos los análisis de esta investigación, se observa que el error de multitrayectoria tiene una influencia de gran importancia sobre la precisión de los navegadores y que el mismo no debe ser subestimado, los cuales se deben tener presentes a la hora de buscar mayor precisión en la utilización de navegadores.

5. LITERATURA CITADA

GUTOVNIK, P. 2001. Funcionamiento de GPS y Mapa Móvil. p 36

REUTER, F. 2001. Sistema de posicionamiento Global: GPS, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. p 75.

KOH, I; SARABANDI, K. 2002. Polarimetric channel characterization of foliage for performance assessment of GPS receivers under tree canopies. Institute of electrical and engineers, Transactions on antennas and propagation, IEEE, p 713-726

MANCEBO-QUINTANA, S. 2004. Análisis de precisión y eficiencia de receptores GPS bajo cobertura arbórea (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, España. p 15-55.

BLANCO VAZQUES, M; RODRIGUEZ PEREZ, J; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, A; CALDERÓ, A. 2012. Estimación de la exactitud y precisión de receptores gnss bajo cobertura arbolada de pino radiata, Universidad de León España. Grupo de Investigación GI 202-GEOINCA. p 10.

LOPEZ, M; RODRIGUEZ PEREZ, J; DORADO, F; ENOC, A. 2010. Evaluación de errores en el posicionamiento con receptores GPS de doble frecuencia bajo cubierta arbolada de *Pinusradiata* d. don. Universidad de León, España. p84.

ORONA, M.; ANDRADE, N. 2015. Evaluación de la precisión de navegadores GNSS (GPS-GLONASS). Misiones-Argentina. p 88.



REGENERACIÓN ARBÓREA NATIVA EN ÁREAS BOSCOSAS DEL ESPINAL

Silvana M. J. SIONE^{1,2}, Silvia G. LEDESMA¹, Leandro J. ROSENBERGER¹, José D. OSZUST¹,
Magalí CATTANEO HILDT¹

RESUMEN

Se evaluó la regeneración arbórea natural, a fin de comprender su potencial para la restauración de los bosques del Espinal (Distrito del Ñandubay). En 17 rodales situados en diferentes situaciones del Espinal de Entre Ríos (Cuenca del Arroyo Feliciano) se evaluó la regeneración temprana (individuos con DAP < 10 cm y altura < 1,5 m) y regeneración avanzada (DAP < 10 cm y altura > 1,5 m), en 5 parcelas rectangulares de 20 m² por rodal. La densidad total fue 940 ± 506 ind ha⁻¹. *Vachellia caven* y *Celtis ehrenbergiana* presentaron las mayores densidades relativas (32,7 y 27,8 %, respectivamente), siendo las más frecuentes *V. caven* y *P. affinis*, si bien esta última aportó sólo el 10,5 % de los individuos. El 53,2 % de la densidad total correspondió a regeneración temprana, siendo *V. caven* la de mayor densidad (162 ind ha⁻¹), seguida por *C. ehrenbergiana*. Las especies de *Prosopis* aportaron sólo el 12,5 % de la regeneración temprana. La baja densidad de renovals determinada indica una limitada regeneración arbórea natural. Sin embargo, todas las especies arbóreas nativas estuvieron representadas tanto en la regeneración temprana como en la avanzada, lo que indicaría que una vez establecidas tienen chances de sobrevivencia y crecimiento. Resulta prioritario dar continuidad a esta línea de investigación para contribuir a la recuperación de estos ecosistemas boscosos.

Palabras clave: bosques nativos, Espinal, regeneración, restauración

1. INTRODUCCIÓN

La superficie cubierta con bosques nativos en Argentina ha sufrido una significativa reducción, que ha ocurrido por pulsos asociados a momentos favorables para la expansión agrícola (Montenegro et al., 2004). Además, en las diferentes regiones forestales argentinas, el estado de los bosques remanentes se caracteriza por la degradación estructural y funcional.

En ese contexto, la región del Espinal es mencionada como una de las más impactadas por la acción antrópica. En la cuenca del Arroyo Feliciano, representativa del Espinal entrerriano, se registró una pérdida de 43 802 ha de bosques en el período 2006-2017, a una tasa anual media de -0,81 % (Sione et al., 2021).

Ante esta situación, se han desarrollado diversas investigaciones destinadas al conocimiento de la biología, dinámica y manejo de las especies arbóreas nativas, que sirvan de base para delinear estrategias de restauración de los ecosistemas boscosos remanentes a partir de la regeneración natural, tanto en el Espinal como en otras regiones boscosas de Argentina (Arturi, 1997; De Noir et al., 2002; Sione et al., 2011; Giménez et al., 2013; Ormaechea y Peri, 2010; Coirini et al., 2013).

Sin embargo, son escasos los estudios sobre las comunidades arbóreas nativas juveniles en el Espinal, desde el punto de vista de su importancia para la perpetuación de los ecosistemas boscosos (Lewis et al., 2009; Arturi y Goya, 2004; MAyDS, 2020; Romero, 2021).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la regeneración natural de especies arbóreas nativas, a fin de comprender su potencial para la restauración de los bosques semixerófilos del Espinal (Distrito del Ñandubay).

* Trabajo realizado en el marco del PID UNER 2223 "Captura y fijación de carbono como servicio ambiental de los bosques nativos del Espinal".

¹ Facultad de Cs. Agropecuarias UNER silvana.sione@uner.edu.ar / 0343-4975075 int. 157

² Becaria Posdoctoral CONICET - CICYTTP



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Cuenca del Arroyo Feliciano, ubicada en la Provincia de Entre Ríos, entre los 58° 20' y 59° 36' de longitud oeste y los 30° 15' y 31° 6' de latitud sur (Figura 1). La cuenca cubre una superficie de 835 355 ha, distribuidas en 5 departamentos: La Paz (50 %), Federal (27,6 %), Feliciano (21,2 %), correspondiendo el resto (menos del 0,5 %) a Paraná y Federación. Los bosques nativos cubren aproximadamente el 70,6 % de la cuenca. El área pertenece a la Provincia Fitogeográfica del Espinal (Distrito del Ñandubay) (Cabrera, 1976). En general, la vegetación está caracterizada por bosques semixerófilos dominados por ñandubay (*Prosopis affinis* Spreng.), espinillo (*Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger) y algarrobo negro (*Prosopis nigra* Griseb. Hieron) y acompañados por otras especies como *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm. y *Prosopis alba* Griseb., entre otras. Sin embargo, dada la gran diversidad de suelos y la profusa red hidrográfica que surca la región, sumado a la historia de uso y manejo, los bosques de la cuenca presentan gran heterogeneidad fisonómica y florística.

Se trabajó en 17 rodales ubicados en diferentes situaciones del Espinal, con una distancia mínima de 2 km entre ellos. Para evaluar la regeneración se siguió el Protocolo para el monitoreo de la degradación de tierras aplicado a ecosistemas forestales nativos (INTA Proyecto Estructural I040, 2021). Se definieron dos categorías de regeneración: regeneración temprana (que incluye individuos de especies arbóreas con DAP < 10 cm y altura inferior a 1,5 m) y regeneración avanzada (individuos con DAP < 10 cm y altura superior a 1,5 m). En cada bosque se delimitó una parcela circular de 1000 m² para recabar información, objeto de una investigación realizada en paralelo a la presente. La regeneración fue evaluada en 5 parcelas rectangulares de 20 m² cada una, que se dispusieron en los extremos N, S, E y O y en el centro de cada parcela circular (disposición en cruz que permite captar la variabilidad que caracteriza a este estrato), determinándose la especie y la densidad (número de plantas por m²). Se calculó la riqueza específica, la frecuencia por especie, la densidad total (ind ha⁻¹) y la densidad relativa por especie (%).

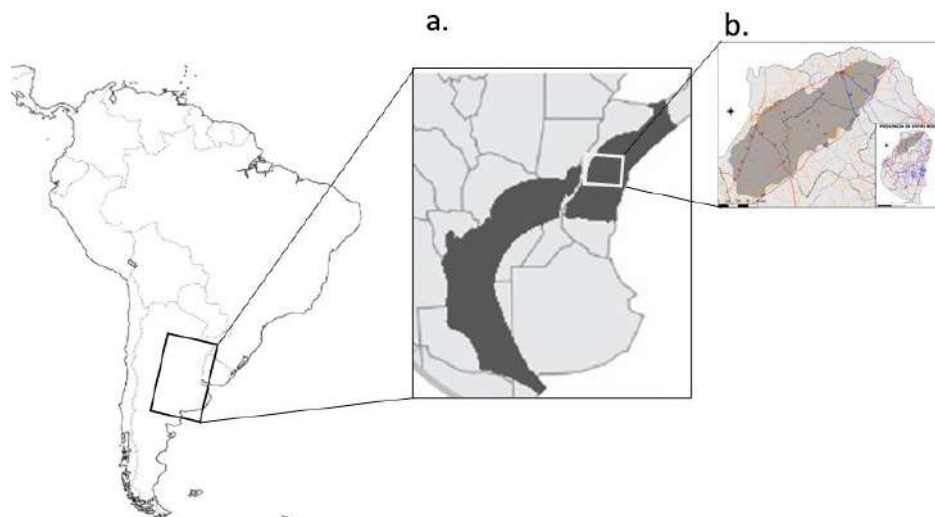


Figura 1. Área de estudio. (a) Región del Espinal; (b) Localización de la Cuenca del Arroyo Feliciano (área sombreada), en la provincia de Entre Ríos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó, en promedio, una densidad de 940 ± 506 ind ha⁻¹ (regeneración total), correspondiente a 7 especies arbóreas nativas (Figura 2). Los valores de densidad total variaron entre 320 y 2160 ind ha⁻¹. *V. caven* y *C. ehrenbergiana* presentaron las mayores densidades relativas (32,7 y 27,8 %, respectivamente). Las especies más frecuentes fueron *V. caven* y *P. affinis*, si bien esta última aportó sólo el 10,5 % de la densidad total de renovales (Cuadro 1).



El 53,2 % de la densidad total correspondió a regeneración temprana, siendo *V. caven* la de mayor densidad (162 ind ha⁻¹), seguida por *C. ehrenbergiana* (105 ind ha⁻¹); estas especies resultaron además las más frecuentes. Las especies de *Prosopis* (*P. affinis* y *P. nigra*) aportaron sólo el 12,5 % de la densidad de regeneración temprana (Cuadro 1).

C. ehrenbergiana fue la especie con mayor número de renovales mayores a 1,5 m de altura (regeneración avanzada), aportando el 40 % de la densidad. Esta resultó la única especie con mayor densidad de regeneración avanzada respecto a la temprana. El ñandubay y el algarrobo negro contribuyeron con el 13,8 % de la regeneración avanzada. Sin embargo, ambas especies mantuvieron densidades similares entre regeneración avanzada y temprana (Cuadro 1).

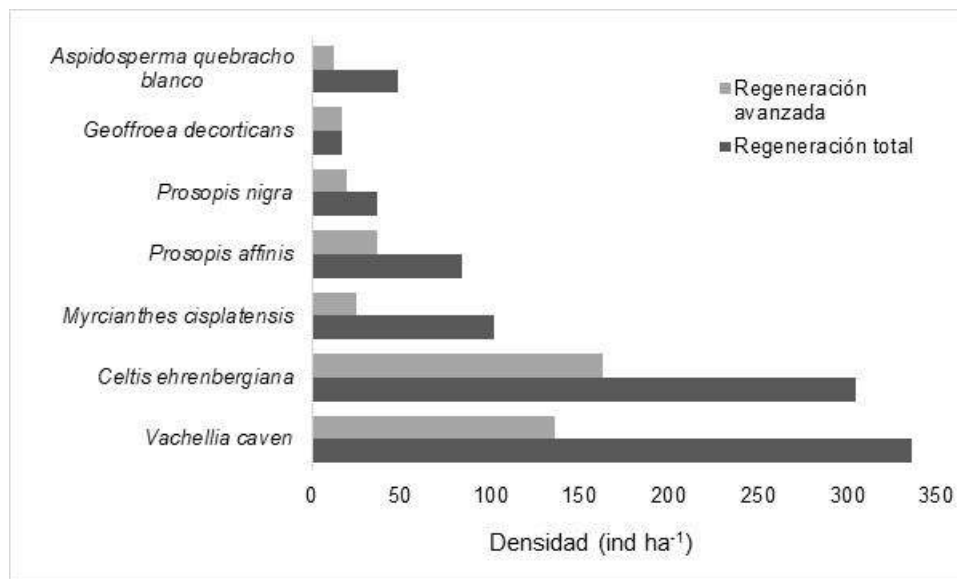


Figura 2. Densidad de la regeneración total y avanzada por especie, en bosques nativos del Espinal

Cuadro 1. Densidad (ind ha⁻¹) y frecuencia por especie para la regeneración temprana y avanzada

Especie	Regeneración temprana		Regeneración avanzada	
	Densidad (ind ha ⁻¹)	Frecuencia (%)	Densidad (ind ha ⁻¹)	Frecuencia (%)
<i>Vachellia caven</i>	162	45,0	136	76,5
<i>Celtis ehrenbergiana</i>	105	45,0	164	52,9
<i>Myrcianthes cisplatensis</i>	62	20,0	25	23,5
<i>Prosopis affinis</i>	38	25,0	36	58,8
<i>Prosopis nigra</i>	14	10,0	19	52,9
<i>Geoffroea decorticans</i>	-	-	17	23,5
<i>A. quebracho blanco</i>	29	15,0	12	11,8

Los valores de densidad registrados en este estudio resultan inferiores a los determinados en estudios previos. A escala regional, en el marco del Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos (MAyDS, 2020), se han reportado densidades medias de 1424 ind ha⁻¹ en el Espinal, siendo *Prosopis caldenia*, *P. nigra* y *V. caven* las especies dominantes. En relictos de bosques del Espinal (provincia de Córdoba), Lewis et al. (2009) registraron 2190 renovales/ha correspondientes a 12 especies, siendo *C. tala* la especie que mayor densidad aportó y una de las especies más frecuentes, en coincidencia con nuestro estudio. Por su parte, en esta misma región, Romero (2021) determinó densidades de renovales entre 7300 y 8400 ind ha⁻¹, aportadas en un 100 % por *C. ehrenbergiana*. Esta especie ha sido señalada como una especie cuyo fruto es consumido por las aves, lo que favorece su dispersión y regeneración (Arturi y Goya, 2004).



En nuestro estudio, *C. ehrenbergiana* fue también la especie de mayor aporte a la regeneración avanzada, a diferencia de otra investigación desarrollada en el Espinal (talares del noroeste de Buenos Aires) por Arturi y Goya (2004), quienes encontraron que, si bien son abundantes la fructificación y germinación de esta especie, se observa una alta mortalidad de plántulas y la mayor parte de los renovales no supera los 50 cm de altura, atribuible al déficit hídrico y a la competencia con herbáceas.

En bosques del Chaco Occidental se ha reportado alta mortalidad inicial de individuos de las especies dominantes del dosel, y por consiguiente bajas densidades en inventarios de regeneración natural (Brassiolo, 1993). Este autor considera ejemplares juveniles establecidos a aquellos con altura superior a los 2 m ya que pueden superar la influencia del ganado y el canopeo del estrato arbustivo.

Son diversos los factores que determinan una escasa regeneración arbórea natural. Entre ellos se puede citar la baja producción de frutos y semillas por efecto de condiciones meteorológicas. La floración de las especies de *Prosopis* por ejemplo se ve especialmente afectada por las precipitaciones intensas y abundantes durante el período de floración (octubre-noviembre), que producen el lavado de las flores y la consiguiente escasa producción de frutos (Lallana et al., 1999). También el efecto de los agroquímicos sobre las poblaciones de polinizadores naturales podrían afectar la producción de semillas. Por su parte, el pastoreo de ganado doméstico ha sido señalado como un factor con impactos negativos sobre el establecimiento temprano y la sobrevivencia de renovales de especies arbóreas, por efecto del pisoteo y el ramoneo (Torres y Renison, 2015). Este podría ser el caso de los bosques evaluados en este trabajo, dado que el 100 % de los mismos están bajo pastoreo de ganado vacuno de cría y recría. Cabe mencionar además, que las menores densidades de renovales arbóreos se determinaron en áreas que presentaban severos síntomas de encharcamiento. Ibáñez (2014) considera relevante analizar las interacciones entre el clima y el suelo a la hora de determinar la influencia del clima en las dinámicas de regeneración. Este autor determinó que en suelos pesados con elevados porcentajes de arcilla, un exceso hídrico perjudica a los individuos arbóreos al aumentar el riesgo de encharcamiento y, con ello, la posible asfixia de las raíces. Esto podría constituir un factor preponderante en el Espinal, donde la mayor parte de la superficie presenta suelos Vertisoles y Alfisoles con alto contenido de arcilla, principalmente en áreas sin pendiente y por ende con elevado riesgo de encharcamiento.

El manejo al que son sometidos los bosques también constituye un factor que afecta la regeneración. En áreas boscosas del Chaco Semiárido, Tálamo et al. (2013), afirman que el aprovechamiento forestal genera micrositios que suelen presentar diferencias en relación a factores abióticos (suelo, luz y agua), que pueden afectar el establecimiento de renovales de las especies de leñosas nativas.

4. CONCLUSIONES

La densidad de renovales determinada resultó relativamente baja, indicando una limitada regeneración arbórea natural. Sin embargo, todas las especies arbóreas nativas estuvieron representadas tanto en la regeneración temprana como en la avanzada, lo que indicaría el éxito en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento. Estas propiedades ponen en evidencia el potencial de estas especies para procesos de restauración en áreas de bosque del Espinal.

Los resultados aquí presentados resultan preliminares, siendo necesaria una mayor intensidad de muestreo. Dada la escasez de estudios tendientes a evaluar la regeneración en el Espinal, y considerando el contexto actual de pérdida de bosques por avance de la frontera agropecuaria y la degradación estructural y florística que presentan los bosques remanentes de la región, resulta prioritario dar continuidad a esta línea de investigación a fin de garantizar la recuperación de estos ecosistemas y la provisión de sus servicios ambientales.



5. LITERATURA CITADA

- ARTURI, M. F.; J. F. GOYA. 2004. Estructura, dinámica y manejo de los talaes del NE de Buenos Aires. In M. F. ARTURI, J. L. FRANGI Y J. F. GOYA (Ed), Ecología y manejo de los bosques de Argentina. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata: Argentina. 1-24
- CABRERA, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería (2a ed.). ACME. S.A.C.I.
- COIRINI, R.; KARLIN, M.; M. BRASSIOLO. 2013. Prácticas forestales en los bosques nativos de la República Argentina. Ecorregión Espinal. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Proy. Manejo Sustentable de los Recursos Naturales (BIRF 7520-AR-PNUD 08/008).
- DE NOIR, F.A.; BRAVO, S.; ABDALA, R. 2002. Mecanismos de dispersión de algunas especies de leñosas nativas del Chaco Occidental y Serrano. Quebracho 9: 140-150.
- GIMÉNEZ, A. M.; HERNÁNDEZ, P.; RÍOS, N.; CALATAYU, F. 2013. Crecimiento de árboles individuales de *Geoffroea decorticans* Burk., en un bosque del Chaco Semiárido, Argentina. Madera y Bosques 19 (1): 37-52.
- IBÁÑEZ, B. 2014. Procesos implicados en la regeneración de bosques mixtos mediterráneos afectados por decaimiento. Ecosistemas 23(3):105-108. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-3.14
- INTA Proyecto Estructural I040 (2021). Instructivo para el monitoreo de la degradación de tierras aplicado a ecosistemas forestales nativos. Documento Interno.
- LALLANA, M.; ELIZALDE, J. H.; BILLARD, C.; SABATTINI, R. A.; LALLANA, V. H. 1999. Capacidad de rebrote y tasa de crecimiento en individuos de *Prosopis* spp. en un monte nativo del departamento La Paz, Entre Ríos. (pp.56-64) En: Actas IV Jornadas Técnicas Forestales del Parque Chaqueño y II Jornadas de la Asociación Argentina de Prosopis. Pcia. Roque S. Peña, Chaco
- LEWIS, J. P. 2004. Woody vegetation structure and composition of the last relicts of Espinal vegetation in subtropical Argentina. Biodivers Conserv (2009) 18:3615–3628. DOI 10.1007/s10531-009-9665-8.
- MAYDS. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina. (2020). Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos. Informe Regiones Forestales Espinal y Delta e Islas del Río Paraná. 144 p.
- MONTENEGRO, C.; GASPARRI, I.; MANGHI, E.; STRADA, M.; BONO, J.; PARMUCHI, G. 2004. Informe sobre deforestación en Argentina. UMSEF. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 8p.
- Ormaechea, S.G.; PERI, P. 2010. Protección de renovales de ñire al ramoneo en el marco de un uso silvopastoril. I Jornadas Forestales de Patagonia Sur, Ushuaia Argentina. Actas P 94.
- ROMERO, M. C. 2021. Regeneración natural y asistida de especies leñosas en un relicto de Espinal en la provincia de Córdoba: ¿es conveniente utilizar la siembra como técnica para promover la regeneración? Tesina Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales - UNC - Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas (IIBYT-CONICET-Universidad Nacional de Córdoba), Córdoba, Argentina. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/21834/TESINA%20ROMERO%20MARIA%20CECILIA%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SIONE, S. M.; WILSON, M. G.; GAITÁN, J.; PIOTO, A. C.; LEDESMA, S. G. 2021. Pérdida de áreas boscosas en la Cuenca del Arroyo Feliciano (Entre Ríos, Argentina) en el período 2006-2017. X Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo UMS2021. La Coruña, España.
- TÁLAMO, A.; LÓPEZ DE CASENAVE, J.; NÚÑEZ REGUEIRO, M.; CAZIANI, S. 2013. Regeneración de plantas leñosas en el Chaco semiárido argentino: relación con factores bióticos y abióticos en micrositos creados por el aprovechamiento forestal. Bosque 34(1): 53-62, 2013 DOI: 10.4067/S0717-92002013000100007.
- TORRES, R. C.; RENISON, D. 2015. Effects of vegetation and herbivores on regeneration of two tree species in a seasonally dry forest. Journal of Arid Environmental 121: 59-66.



ESTRUCTURA VERTICAL DE BOSQUES DE *Gonopterodendron sarmientoi* EN ARGENTINA

Sebastian KEES¹, Dante LOTO², Maximiliano AZCONA³, Santiago TELLERIA³, Eduardo MANGHI³, Juan GAITÁN⁴, Vanina CHIFARELLI⁵, Pablo PERI⁶

RESUMEN

Se ajustaron funciones preliminares y regionales de altura media por clase diamétrica de palo santo (*Gonopterodendron sarmientoi*) para ser utilizadas en el Parque Chaqueño. Las funciones obtenidas predicen la altura total media por clase diamétrica para diferentes tipos de bosques de palo santo. Se trabajó sobre datos de 482 parcelas con presencia de la especie, provenientes de inventarios forestales en bosques nativos en tenencias de comunidades aborígenes, campesinas y planes de manejo cubriendo parte de las provincias de Salta, Formosa y Chaco. Con los datos de la parcela se aplicó el método del diagrama h (altura total de los árboles) – M (valor acumulativo medio de las alturas) para describir la estructura vertical. Los modelos ajustados fueron satisfactorios para el conjunto de datos en general y también para todos los grupos. Respecto a la estructura vertical, palo santo está presente en todos los estratos para los grupos palosantal, y de alta presencia de palo santo, mientras que, en el grupo bosques con baja presencia de palo santo se evidenció una falta de ejemplares en los estratos bajos e intermedios.

Palabras clave: *diagrama H – M, Palo santo, Parque Chaqueño*

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de los recursos forestales tiene como objetivo preponderante el determinar su importancia y grado de utilidad, y así fundamentar su aprovechamiento, no sólo a nivel maderable, sino en la diversidad de bienes y servicios que de ellos se obtienen (Ramírez y Torres, 1985).

Los aspectos funcionales de los bosques chaqueños constituyen una de las áreas de estudio de más reciente desarrollo. Este hecho se debe probablemente a la aceptación por parte de la comunidad científica de la importancia que tiene en el conocimiento de la estructura de los ecosistemas, el estudio de los procesos que los generan y perpetúan (Biani et al., 2006).

Según Michela et al. (2018), para una gestión responsable de estos bosques es necesario conocer tanto la distribución diamétrica característica de estos tipos de bosques y su dinámica como la distribución de los pisos de vegetación. Lograr la descripción de estos bosques contribuye a establecer los fundamentos básicos para gestionar el aprovechamiento a perpetuidad. Loto et al. (2021) determinaron tres tipos de estructuras de bosques con presencia de palo santo (palosantal, y bosques con baja y alta presencia de palo santo), asociados a un gradiente temperatura, precipitación, evapotranspiración y texturas del suelo en el norte de Argentina.

El presente trabajo tiene por objetivo caracterizar la estructura vertical de los tres grupos con palo santo discriminados por Loto et al. (2021) como base para el manejo sustentable.

¹ Campo Anexo Estación Forestal Plaza – Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). kees.sebastian@inta.gob.ar.

² Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (INSIMA) Facultad de Ciencias Forestales -. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Dirección Nacional de Bosques (Autoridad Científica CITES en especies forestales). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (DNB, MAyDS). Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires. Argentina.

⁵ Investigador independiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

⁶ Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).



2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en el norte de Argentina (figuras 1A y 1B), dentro del dominio fitogeográfico regional del Chaco Seco (Cabrera 1976), incluyendo el oeste de las provincias de Chaco y Formosa, y al este de la provincia de Salta (22,0°-25,8° S, 59,3°-64,6° O).

Este bosque, xerófilo y semicaducifolio, cuenta con un estrato superior dominado por el quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) y el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) de entre 15 y 25 metros de altura. En el límite oriental de la ecorregión, estas especies coexisten también con el quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*), en lo que se conoce como el “bosque de los tres quebrachos”, una de las comunidades más particulares. El quebracho colorado santiagueño, que delimita tradicionalmente el Chaco Semiárido con su distribución, es, sin duda, una de las especies más emblemáticas de la región. Integran esta subregión también otros árboles más bajos como el mistol (*Sarcophalus mistol*) de frutos comestibles, el palo cruz (*Tabebuia nodosa*), palo borracho de flor blanca (*Ceiba chodatii*) y una gran variedad árboles y arbustos, con una importante presencia de algarrobos (*Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Prosopis ruscifolia*, *Prosopis kuntzei*). Se encuentran también bosques de xerófitas con palo santo (*Bulnesia sarmientoi* ahora *Gonopterodendron sarmientoi*) y quebracho blanco lagunero (*Aspidosperma triternatum*) ocupando suelos generalmente deprimidos arcillo-limosos (MAyDS, 2020).

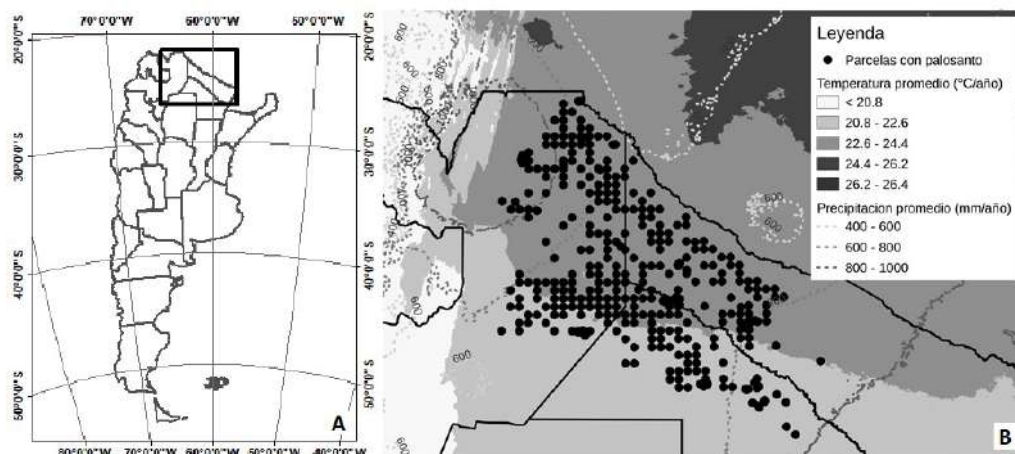


Figura 1. (A) Área de estudio ubicada en Argentina en las provincias de Chaco, Formosa y Salta. (B) Detalle de la distribución de parcelas con presencia de palo santo en bosques del Chaco Seco Argentino.

Se utilizó información recopilada a partir de inventarios forestales realizados para diferentes años en el norte de Argentina. Estos inventarios, nacionales, regionales y locales provienen de muestreos realizados en bosques nativos en tenencias de comunidades aborígenes, campesinas y planes de manejo cubriendo el área de estudio regional dentro de las provincias de Salta, Formosa y Chaco (figura 1 B). Se trabajó sobre datos de 482 parcelas con presencia de la especie (Figura 1 B). Todas las parcelas de 1000 m² de forma circular, con registros de diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm), la altura total (m) y la longitud o altura del fuste (m) de todos los individuos a nivel de especie.

Utilizando el programa InfoStat 2018 (Di Rienzo et al., 2020) versión libre se ajustaron funciones altura diámetro por clase diamétrica por grupo para la especie. La estructura vertical se la determinó en base al número de estratos de la vegetación leñosa en cada grupo identificado que surge del empleo de la metodología del diagrama h – M. En este método la diferencia de estratos se obtiene gráficamente, ploteando la altura total de los árboles (h o H) en el eje de las ordenadas y el valor acumulativo medio de las alturas (M) en el eje de las abscisas, en escala aritmética. Para aplicar esta metodología se grafica la altura total de los árboles H agrupados en orden decreciente en función de M. Esta última se calcula de la siguiente manera, a cada valor de h se le asigna un número de orden correlativo desde 1 hasta la cantidad de alturas consideradas, luego a cada altura iniciando por la mayor se le suma la siguiente que representa la media acumulativa parcial de altura a partir del mayor valor de H, finalmente



se obtiene el valor de M que resulta de la relación por cociente entre cada suma parcial y el correspondiente número de orden hasta un valor de h inferior al valor máximo de h (Sanquetta, 1995); de este modo, cada uno de los estratos queda determinado gráficamente a partir de saltos, variaciones o discontinuidades en la distribución de los puntos de las alturas ampliando la caracterización de las condiciones naturales de cada grupo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los valores medios y de dispersión de las variables empleadas en el ajuste de funciones altura media por clase diamétrica y tipo de bosque.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas para cada grupo.

GRUPO 1 Palosantal					GRUPO 2 Bosques con alta presencia de palo santo					GRUPO 3 Bosques con baja presencia de palo santo					TODOS				
DN (cm)		HT (m)			DN (cm)		HT (m)			DN (cm)		HT (m)			DN (cm)		HT (m)		
Media	Desvío	Media	Desvío	n	Media	Desvío	Media	Desvío	n	Media	Desvío	Media	Desvío	n	Media	Desvío	Media	Desvío	n
7,5	1,3	4,9	1,6	296	7,3	1,4	5,6	1,6	77	7,2	1,6	5,2	1,6	20	7,5	1,3	5,0	1,7	393
12,2	1,4	6,4	1,8	619	12,3	1,4	7,1	1,8	223	12,4	1,4	7,3	1,7	64	12,2	1,4	6,6	1,9	906
17,1	1,5	8,0	2,3	397	17,3	1,4	8,5	2,0	150	17,6	1,4	8,3	2,2	45	17,2	1,4	8,2	2,2	592
22,1	1,5	9,3	2,5	243	22,5	1,5	9,4	2,1	98	22,3	1,3	9,6	2,4	28	22,2	1,5	9,3	2,4	369
27,0	1,4	10,0	2,3	146	27,2	1,4	10,1	2,9	58	27,1	1,5	10,0	2,6	39	27,1	1,4	10,1	2,5	243
31,9	1,4	10,6	2,6	75	32,4	1,4	11,6	3,4	51	32,4	1,2	10,4	1,8	24	32,1	1,4	10,9	2,8	150
37,0	1,4	10,9	2,2	42	37,1	1,5	12,5	2,9	36	37,2	1,6	11,3	2,9	22	37,1	1,5	11,6	2,7	100
41,6	1,5	10,6	2,6	34	42,0	1,3	11,5	2,1	18	42,7	1,4	11,0	1,8	19	42,0	1,5	11,0	2,3	71
46,8	1,5	12,2	1,8	17	47,3	1,7	13,5	3,9	15	46,7	1,5	12,7	3,2	10	46,9	1,6	12,8	3,0	42
51,9	1,5	12,2	2,4	7	52,3	1,2	12,6	3,6	8	51,6	1,6	14,4	2,9	5	52,0	1,4	12,9	3,0	20
56,5	1,2	13,3	2,0	9	57,0	1,7	11,0	1,7	3	55,5	0,6	12,4	1,0	4	56,4	1,3	12,6	1,9	16
60,5	0,7	12,0	5,7	2	62,9	2,9	16,0	2,8	2	62,2	1,9	15,2	2,0	4	61,9	1,9	14,6	3,2	8
73,0	4,3	15,2	0,8	3	71,8	7,1	16,0	3,1	4	65,2	0,3	12,9	1,6	3	70,2	5,8	14,8	2,4	10

Con estos valores se ajustaron funciones de altura total por clase diamétrica para la especie. Los modelos ajustados y las estadísticas de ajuste se presentan a continuación en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Modelos de altura media por clase diamétrica ajustados para cada grupo.

Grupo	Modelo	R2 % (ajust)	Error abs medio
1 - Palosantal	$HT(m) = 1/(0,0598553 + 1,10695/DN(cm))$	98,4	0,0034
2 - Bosques con alta presencia de palo santo	$HT(m) = 1/(0,0602969 + 0,913684/DN(cm))$	93,8	0,0065
3 - Bosques con baja presencia de palo santo	$HT(m) = 1/(0,0609188 + 0,962622/DN(cm))$	97,2	0,0042
Todos	$HT(m) = 1/(0,0569991 + 1,10069/DN(cm))$	98,9	0,0028

Los estadísticos de ajuste de cada modelo son altamente satisfactorios para el conjunto de datos en general y también para todos los grupos, además, todos los modelos explican más del 93% de la variabilidad de la variable respuesta a partir de la variable regresora.

A continuación, en las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los diagramas h – M para cada grupo.

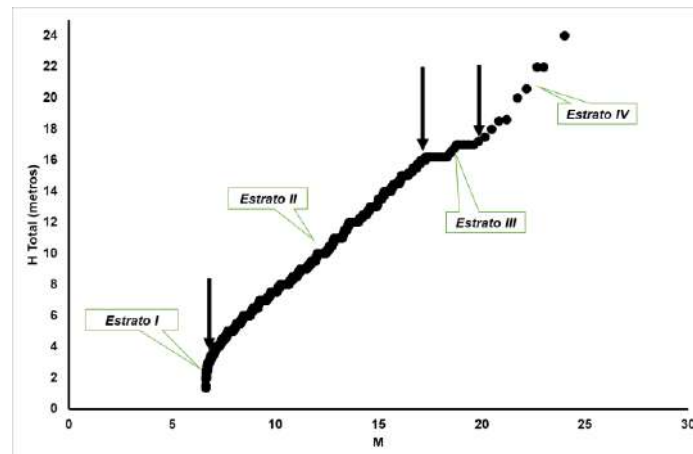


Figura 2. Diagrama h – M del Grupo 1 - Palosantal

En el palosantal (Figura 2), el estrato 1 (inferior), alcanza una altura de hasta 4 metros donde el 23 % de los ejemplares de este estrato corresponden a *G. sarmientoi*, el resto está integrado por las demás especies. El estrato II (intermedio), alcanza los 16,2 metros de altura, es el estrato con mayor densidad y está integrado por un 29 % de *G. sarmientoi* y un 71 % de ejemplares de otras especies. En el estrato III (dominante) que llega a los 18 m de altura, el 18 % de los árboles son de *G. sarmientoi*, acompañado por quebracho blanco, palo blanco y los quebrachos colorados. Hasta este estrato la dispersión de los datos es continua. El estrato IV (predominante), parcialmente discontinuo, alcanza los 24 metros de altura, cuenta con un 13 % de los ejemplares de palo santo acompañado por quebracho blanco, palo mora y quebracho colorado santiagueño.

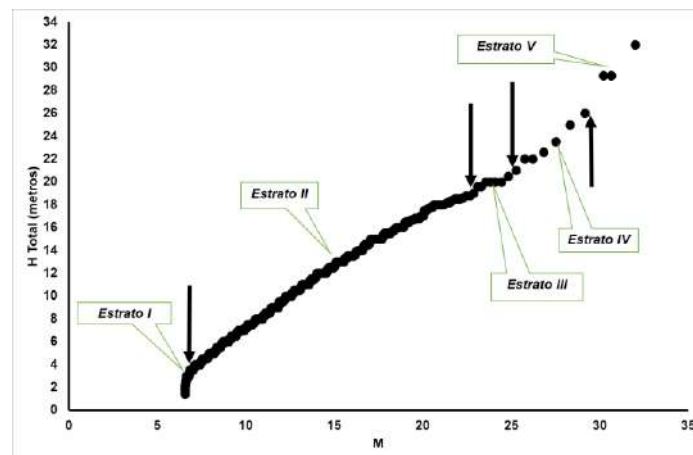


Figura 3. Diagrama h – M del Grupo 2 - Bosques con alta presencia de palo santo

En los “Bosques con alta presencia de palo santo” (Figura 3), el estrato 1 (inferior), alcanza una altura de hasta 3,5 metros donde solo el 1,5 % de los ejemplares de este estrato corresponden a palo santo, el resto corresponde a las demás especies. El estrato II (intermedio), alcanza los 19 metros de altura, es el estrato con mayor densidad y está integrado por *G. sarmientoi* en un 14 % de los individuos presentes el resto está compuesto por árboles de otras especies. En el estrato III (codominante) que alcanza los 22 metros de altura, el 30 % de los árboles son de *G. sarmientoi* y completan la participación en este estrato quebracho blanco y quebracho colorado santiagueño. El estrato IV (dominante) y el estrato V (predominante) alcanzan los 24 y 29,5 metros de altura contando además con un 50 % y un 40 % de los ejemplares de palo santo respectivamente, acompañado por quebracho blanco, guaraní y quebracho colorado santiagueño. Respecto a la continuidad de los estratos, esta es visiblemente continua hasta e estrato IV, donde se torna parcialmente discontinua y llegando a ser marcadamente discontinua en el estrato V.

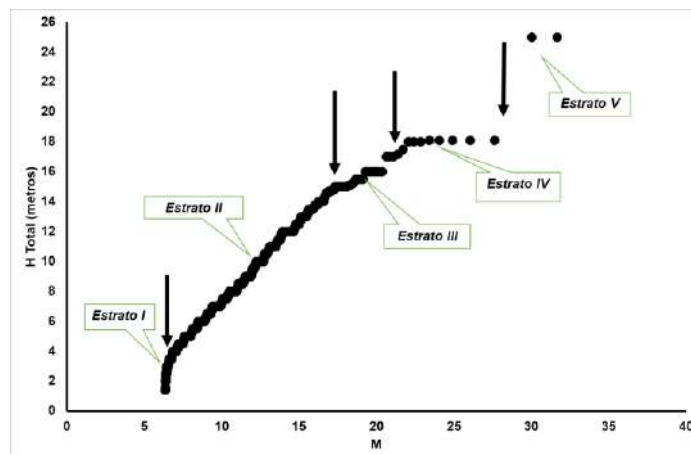


Figura 4. Diagrama h – M del Grupo 3 - Bosques con baja presencia de palo santo

Podemos observar que en el caso de los “Bosques con baja presencia de palo santo” (Figura 4), el estrato 1 (inferior), alcanza una altura de hasta 4 metros donde el 2,4 % de los individuos son de palo santo, el resto corresponde a las demás especies. El estrato II (intermedio), alcanza los 15 metros de altura, es el estrato con mayor densidad y continuidad, integrado por *G. sarmientoi* en un 12 % mientras que el resto está compuesto por árboles de otras especies. En el estrato III (codominante), parcialmente discontinuo, que llega hasta los 18,5 metros, el 24 % de los árboles son de *G. sarmientoi* y completan la participación en este estrato quebracho blanco, Francisco Alvarez, palo borracho y quebracho colorado santiagueño. El estrato IV (dominante), visiblemente discontinuo, entre 19 y 23 metros de altura, tiene un 75 % de los ejemplares de palo santo, mientras que, en el estrato V (predominante), muy discontinuo y el cual llega a los 25 metros, no existen ejemplares de palo santo.

4. CONCLUSIONES

Los modelos ajustados son satisfactorios para el conjunto de datos en general y también para todos los grupos, para predecir la altura media por clase diamétrica para la especie. En cuanto a la estructura vertical, palo santo, está presente en todos los estratos para el Grupo 1 y 2, si bien los valores relativos varían según el grupo y estrato, se encuentra participando en todo el perfil de vegetación. Sin embargo, en el Grupo 3 la participación aumenta conforme lo hace la altura hasta los 18 metros. Esto refleja una falta de ejemplares en los estratos bajos e intermedios, lo que posiblemente se deba a la intensidad de uso de estos bosques o a la propia dinámica de crecimiento y regeneración de estas formaciones como respuesta a las condiciones ambientales.

5. LITERATURA CITADA

- BIANI N. B.; J. L. VESPRINI Y D. E. PRADO. 2006. Conocimiento sobre el gran Chaco argentino en el siglo XX. Ecología y manejo de los bosques de Argentina. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 24 p.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- LOTO D.; KEES S.; AZCONA M.; DE TELLERIA S.; MANGHI E.; GAITAN J.; SPAGARINO C.; GASPARRI I.; PERI P.L. 2021. Estructura de bosques con palo santo (*Gonopterodendron sarmientoi*): Evaluación regional para su manejo y conservación en la Argentina. Ecología Austral 31: 558-574
- MAYDS. 2020. Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Parque Chaqueño: primera revisión. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, Buenos Aires. Argentina.
- MICHELA, JF; KEES, SM; SKOKO, JJ. 2018. Efecto de la acción antrópica en el bosque del centro oeste chaqueño. Revista Forestal Venezolana, año LXII, Volumen 62, Número Único. pp. 69-82. 69
- RAMÍREZ M.H. Y TORRES R.J. (1985). Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en la evaluación de plantaciones. En: Tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales. Publicación Especial Instituto Nacional Investigaciones Forestales No. (48). México. pp. 35-43
- SANQUETTA, C. R. (1995). Análise da estrutura vertical de florestas através do Diagrama h-M. Revista Ciência Florestal. Santa Maria 1 (5): 55-68.



EXTRACCIÓN DE ALCALOIDES A PARTIR DE HOJAS DE *Prosopis nigra*

Magalí S. HEIS¹, Walter A TORRENT¹, Stefania C. APPELHANS², Pablo G. ACEÑOLAZA^{1,3},
Christian J. SEQUIN^{1,3}

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar 4 tratamientos para la extracción de alcaloides de hojas de *Prosopis nigra*. Los mismos fueron partición líquido-líquido simple con éter etílico por 72 h (ES72), partición líquido-líquido continua con éter etílico por 24 h (EC24) y por 72 h (EC72); en ellos se partió de una solución ácida extraída de hojas secas y molidas. En el cuarto tratamiento se partió del extracto etanólico de hojas (EEtOH). La presencia de alcaloides fue determinada utilizando el reactivo de Dragendorff. Cada fracción fue comparada a través de su perfil desarrollado en TLC utilizando el sistema CHCl₃:CH₃OH (97:3). El rendimiento de la extracción de alcaloides en los 4 tratamientos fue de 93,7 mg (ES72), 86,25 mg (EC24), 139,7 mg (EC72) y 65,05 mg (EEtOH). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos respecto del rendimiento. Sin embargo, cuando las fracciones fueron reveladas mostraron diferencias en sus perfiles. El tratamiento EEtOH presentó una mejor definición de bandas, lo que podría estar asociado a una mejor purificación de los alcaloides presentes en hojas de *P. nigra*.

Palabras clave: alcaloides, hojas, tratamientos, extracción, perfil.

1. INTRODUCCIÓN

El algarrobo negro, *Prosopis nigra* (Griseb) Hieron, pertenece a la familia Fabaceae, es un árbol nativo ampliamente distribuido en el centro y norte de Argentina, comprendiendo las provincias de Córdoba, San Luis, La Pampa, Tucumán, Santiago del Estero, Salta, Jujuy, Chaco, Santa Fe, Entre Ríos y Formosa. Junto con el algarrobo blanco, es el “árbol por excelencia” de la región central de Argentina (Giménez et al., 2003).

Numerosas investigaciones, a partir de fuentes naturales, se encuentran encaminadas a la búsqueda de nuevos compuestos con actividades biológicas. Un gran porcentaje de los principios activos está comprendido dentro de los llamados productos naturales o metabolitos secundarios; entre estos metabolitos son comunes aquellos con funciones defensivas contra insectos, bacterias y hongos, y pertenecen principalmente a las familias de los alcaloides, fenoles, flavonoides, taninos y terpenos. Existe gran variación en cuanto a la concentración de estos en la planta, sin embargo lo común es que las mayores concentraciones de estos tipos de compuestos se encuentren en hojas, flores y semillas (Sandoval Zavaleta et al., 2016).

Los alcaloides son uno de los grupos de metabolitos secundarios más diversos encontrados en los organismos vivos; este grupo incluye alrededor de 15 000 metabolitos secundarios y se encuentran aproximadamente en un 20 % en las especies de plantas vasculares (Sandoval Zavaleta et al., 2016).

Diversos estudios han confirmado la presencia de alcaloides en el género *Prosopis*. Estudios realizados con alcaloides presentes en extractos de *Prosopis juliflora* han demostrado el efecto antimicrobiano de éstos sobre *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus mutans*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella choleraesuis* (dos Santos et al., 2013; Ardoino et al., 2017). Moro et al. (1975) encontraron en hojas de *P. nigra*, los alcaloides triptamina, N-acetilriptamina, β-feniletilamina, tiramina y harmano, siendo el principal β-feniletilamina. Sumado a

¹ FCA - UNER

² CONICET- INTA EEA Paraná

³ CONICET - CICyTTP



esto, Samoylenko et al. (2009) encontraron los alcaloides juliprosina y juliprosopina en hojas, flores, tallos de *P. glandulosa*; estos mismos alcaloides fueron reportados por De Oliveira Carneiro et al. (2017) en *P. juliflora*.

Para la extracción de alcaloides a partir de hojas de especies vegetales se tiene en cuenta que la solubilidad de los mismos en solventes polares o apolares depende del pH. La combinación de diferentes pH y solventes permite distintos métodos para su aislamiento y separación de sustancias no alcaloidicas presentes en los extractos. Teniendo en cuenta principalmente el carácter básico y las características de solubilidad de cada alcaloide se utilizan diferentes disolventes, como por ejemplo: solventes orgánicos en medio básico, alcohol en medio neutro o levemente ácido, agua en medio ácido o vapor de agua para las extracciones por destilación (para generar el arrastre de los mismos cuando se trata de alcaloides volátiles). El contacto de estos disolventes con el material puede realizarse por maceración, mezcla, agitación, extracción continua, etc. (Ringuelet y Viñas, 2013)

El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento de 4 tratamientos diferentes para la extracción de alcaloides de hojas de *Prosopis nigra*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La especie vegetal utilizada para todos los ensayos fue *P. nigra*. Las muestras fueron recolectadas en el departamento Diamante. Un ejemplar fue depositado en el Herbario Lorentz de Diamante (DTE005920). El material vegetal recolectado fue secado a la sombra a temperatura ambiente. Una vez seco se procedió a triturar las hojas en molinillo.

Los tratamientos realizados fueron partición líquido-líquido simple con éter etílico por 72 h (ES72), partición líquido-líquido continua con éter etílico por 24 h (EC24) y por 72 h (EC72). Las extracciones se realizaron de acuerdo a la técnica descrita por Moro et al. (1975). Se tomaron 100 g de hojas y tallos secados al aire, estos se dejaron macerar con 300 mL de HCl al 10 % durante 24 h a 70 °C, luego se filtraron y al residuo resultante se le agregaron 100 mL de la misma solución, dejándolo macerar nuevamente por 24 h a 70 °C. Los extractos ácidos combinados se alcalinizaron mediante el agregado de Na₂CO₃ hasta alcanzar pH 9. A partir de la solución alcalina obtenida se extrajeron las fracciones con éter etílico, mediante partición líquido-líquido simple por 72 h, continua por 24 h y 72 h. El extracto etéreo que contenía la mezcla de los alcaloides se evaporó a sequedad al vacío a 50 °C y el residuo se disolvió en etanol. El cuarto tratamiento (EEtOH) consistió en la extracción de alcaloides partiendo del extracto etanólico de hojas según la técnica descrita por Samoylenko, et al. (2009). Se tomaron 100 g de hojas secas y se dejaron macerar en 400 mL de etanol durante 48 h, y posterior filtrado. Este proceso se repitió 3 veces. Los filtrados obtenidos se agruparon y se evaporaron hasta sequedad a 50°C en vacío. Los gramos obtenidos del extracto etanólico se disolvieron en un volumen de ácido clorhídrico acuoso 0,1N proporcional a la cantidad obtenida. A continuación, se particionó con el agregado de n-hexano. Seguidamente, la fase acuosa resultante se particionó con diclorometano. La solución acuosa resultante se alcalinizó mediante el agregado de hidróxido de amonio 0,5N hasta alcanzar pH 11 y se particionó mediante el agregado de CH₂Cl₂. La fase acuosa resultante se alcalinizó nuevamente mediante el agregado de NH₄OH concentrado hasta alcanzar pH 11,45. A esta solución resultante se le agregaron 50 mL de CH₂Cl₂ (x3); este mismo procedimiento se realizó posteriormente con 100 mL acetato de etilo. Las fracciones de acetato de etilo y CH₂Cl₂, en pH 11 y 11,45 se evaporaron hasta sequedad a 50 °C en vacío. En este caso el contenido de alcaloides se expresa como la suma de todas las fracciones.

Cada fracción fue comparada a través de su perfil desarrollado en TLC utilizando el sistema CHCl₃:CH₃OH (97:3) en cuba cromatográfica y se la observó bajo UV254. La presencia de alcaloides fue determinada por pulverización con el reactivo de Dragendorff.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de la extracción de alcaloides en los tratamientos fue de 93,7 mg (ES72), 86,25 mg (EC24) y 65,05 mg (EEtOH) (Figura 1).

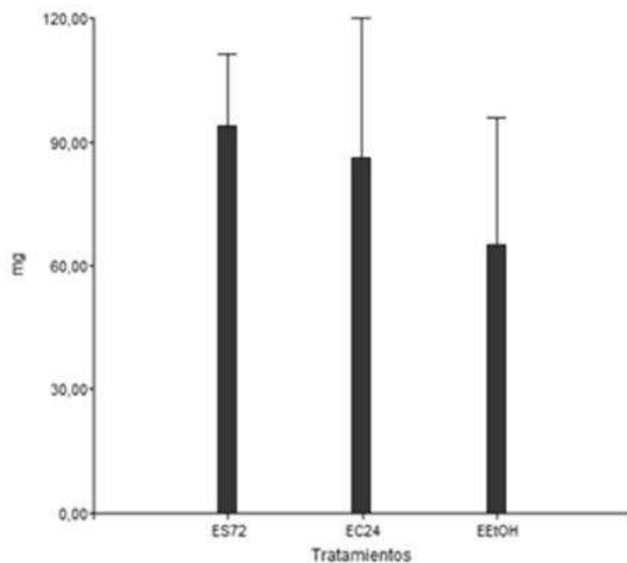


Figura 1. Rendimientos obtenidos en los tratamientos expresados en miligramos (mg).

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ES72, EC24 y EEtOH respecto del rendimiento ($p = 0,62$). El tratamiento EC72 presentó un rendimiento superior al resto de los tratamientos con un valor de 139,7 mg. Sin embargo, el mismo no fue comparado ya que se realizó una sola repetición debido a que el proceso de extracción fue extremadamente laborioso.

Las fracciones revelaron diferentes bandas, difiriendo sus Rf's. Los tratamientos EC24, EC72 y EEtOH presentaron mejor definición de bandas cuando fueron reveladas con Dragendorff (Figura 2A). Sin embargo, cuando fueron reveladas con UV (Figura 2B) se observa que la fracción EEtOH presenta una mejor relación entre la presencia de las bandas bajo UV y la presencia de bandas de alcaloides por Dragendorff. En la Figura 2, EEtOH corresponde a la fracción de CH_2Cl_2 obtenida a $\text{pH} = 11$. El resto de las fracciones obtenidas por el método de Samoylenko, et al. (2009) no se muestran en esta figura, sin embargo, podemos informar que presentaron similares patrones de bandas.

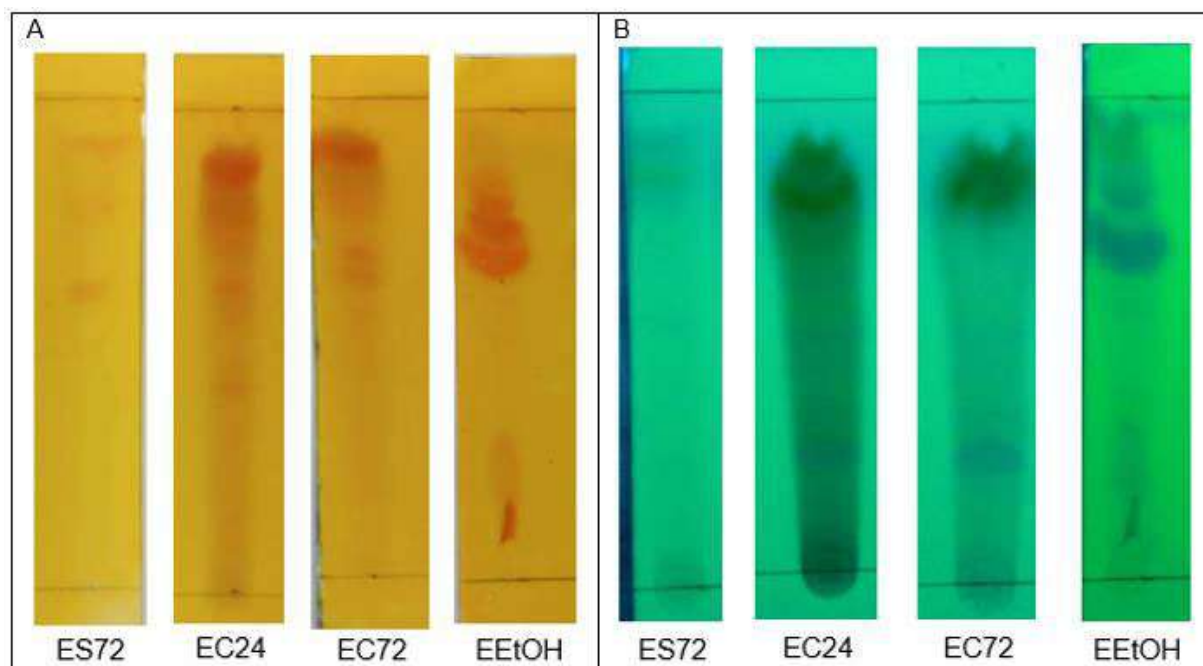


Figura 2. (A) Determinación de presencia de alcaloides con reactivo de Dragendorff y (B) revelado con radiación UV254.



4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede confirmar la presencia de alcaloides en hojas de *Prosopis nigra*, tal como ha sido informado por otros investigadores (Moro et al., 1975; Sequin et al., 2020). Aunque las diferentes técnicas para la extracción de alcaloides mostraron rendimientos similares, las bandas obtenidas fueron diferentes entre sí por lo que podría haber diferencias en la composición química de los alcaloides. La mejor definición de las bandas del tratamiento EEtOH podría estar asociado a una mejor purificación de los mismos; con lo cual, sería la fracción más propicia para utilizar al momento de evaluar la bioactividad de los alcaloides presentes en *P. nigra*.

5. LITERATURA CITADA

- ARDOINO, S. M.; BOERIS, M. A.; TOSO, R. E. 2017. Caracterización fitoquímica de *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (algarrobo) y *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (alpataco), plantas con acción farmacológica. Ciencia Veterinaria 15(1): 115-125.
- DE OLIVEIRA CARNEIRO, K. 2017. Isolamento e avaliação da atividade anticolinérgica de alcaloides de *Prosopis juliflora* obtida no semiárido baiano. Anais dos Seminários de Iniciação Científica.
- DOS SANTOS E., PEREIRA M., DA SILVA C., SOUZA L., GERIS R., MARTINS D., et al. Antibacterial activity of the alkaloid-enriched extract from *Prosopis juliflora* pods and its influence on *in vitro* ruminal digestion. Int J Mol Sci [en línea] 2013 [Citado 11 Nov 2015]; 14(4):8496-8516.
- GIMÉNEZ, A. M.; RÍOS, N. A.; MOGLIA, J. G. 2003. Crecimiento de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron (Algarrobo negro) en Santiago del Estero, Argentina. Foresta Veracruzana 5(2): 17-22.
- MORO, G. A.; GRAZIANO, M. N.; COUSSIO, J. D. 1975. Alkaloids of *Prosopis nigra*. Phytochemistry.
- RINGUELET, J. A.; VIÑAS, S. 2013. Productos naturales vegetales - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- SAMOYLENKO, V.; ASHFAQ, M. K.; JACOB, M. R.; TEKWANI, B. L.; KHAN, S. I.; MANLY, S. P.; MUHAMMAD, I. 2009. Indolizidine, antiinfective and antiparasitic compounds from *Prosopis glandulosa* Torr. var. *glandulosa*. Planta Medica 75(04): P-48.
- SANDOVAL ZAVALA, E. J.; ZUÑIGA JULCA, E. M. 2016. Efecto antibacteriano in vitro de los alcaloides totales extraídos de hojas de *Prosopis pallida* (humb. & bonpl. ex willd.) kunth "algarrobo" frente a *staphylococcus aureus* y *escherichia coli*.
- SEQUIN, C. J., SAMPIETRO, D. A., SGARIGLIA, M. A., SOBERÓN, J. R., CATALAN, C. A., ACEÑOLAZA, P. G. (2020). Use of extracts from *Prosopis nigra* in the control of *Cercospora kikuchii* and *Septoria glycines*. Industrial Crops and Products, 158, 112979.



ESTUDIO ANATÓMICO FOLIAR DE ÁRBOLES Y SU RELACIÓN CON LA ZONIFICACIÓN URBANA

María Noelia SATTLER¹, Lis Azul ROCHA², Facundo GILARDONI², Mariana Gabriela BLANCO³, Pablo Gilberto ACEÑOLAZA¹

RESUMEN

Las especies vegetales pueden ser utilizadas como bioindicadores de contaminación ambiental, ya sea utilizando variables de distribución espacial, concentraciones de elementos en tejidos o modificaciones morfo/anatómicas inducidas por la concentración de contaminantes. Este trabajo propone comparar las modificaciones morfoanatómicas de hojas para dos áreas de intensidad de uso contrastantes de la ciudad de Paraná: un área céntrica de alta densidad edilicia y de tránsito, contra un área residencial periférica. Para esto se utilizaron dos especies frecuentes en el arbolado urbano de la ciudad, *Fraxinus pennsylvanica* y *Handroanthus heptaphyllus*. Mediante métodos clásicos para la evaluación de la anatomía foliar, se calcularon 2 variables en transcortes y 4 variables en epidermis. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA. Se observa una disminución en los espesores de hoja y de mesófilo junto con una menor densidad de pelos para ambas especies en las áreas más contaminadas. La desorganización del parénquima en empalizada acompaña el patrón para el caso de *F. pennsylvanica*. Se aprecia un efecto de la intensidad de urbanización sobre las características anatómicas de las hojas en las dos especies estudiadas, pudiendo ser utilizadas como bioindicadores.

Palabras claves: *bioindicadores, contaminación ambiental, urbanización, polución*

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación es una de las temáticas ambientales que más preocupa, desde hace ya varias décadas, en ciudades y áreas industriales. Las altas concentraciones de metales pesados pueden aumentar el riesgo de enfermedades entre otros efectos adversos sobre la salud humana (Ehrampoush et al., 2015). Los mismos son de baja movilidad, y por lo tanto ambientalmente persistentes. Además, interactúan con diferentes componentes naturales siendo una amenaza no sólo para el hombre sino también para el medio ambiente (Park y Dam, 2010; Anicic et al., 2011; Pavlik et al., 2012). Estos elementos se encuentran en el material particulado en suspensión del aire y las principales fuentes de emisión son el transporte vehicular, la industria, los combustibles fósiles, la agricultura y otras actividades humanas (Aksoy et al., 2000).

Dentro de las plantas superiores, los árboles han sido ampliamente utilizados como efectivos bioindicadores de polución. Para ello se han utilizado muestras de raíces, de hojas (Alcalá et al., 2008), de corteza (Miri et al., 2016) y de madera (Cocozza et al., 2015). En cuanto a las hojas, los árboles contribuyen a remover partículas absorbiéndolas o reteniéndolas sobre su follaje (Nowak et al., 2006; Qiu et al., 2009). A su vez, los contaminantes atmosféricos tienen un efecto perjudicial sobre la morfología y fisiología de las especies vegetales provocando obturación y aumento del número de estomas por mm², reducción de la fotosíntesis y por lo tanto del crecimiento vegetal (Seoáñez Calvo, 1971); y modificaciones en la estructura de la hoja, como por ejemplo, reducción del parénquima en

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA-UNER) Ruta N° 11 Km 10,5 Oro Verde (3100) - Entre Ríos - Argentina. Centro de Investigación Científica y Transferencia Tecnológica a la Producción (CICYTTP CONICET-ER-UADER) España 149 - Diamante (3105) - Entre Ríos - Argentina. Contacto: noelia.sattler@uner.edu.ar/+543434386650, pablo.acenolaza@uner.edu.ar

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA-UNER) Ruta N° 11 Km 10,5 Oro Verde (3100) - Entre Ríos - Argentina. Contacto: lis.rocha@uner.edu.ar, facundogilardoni@gmail.com

³ Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Entre Ríos (FCECO-UNER) Argentina. Contacto: mariana.blanco@uner.edu.ar



empalizada, cutícula, estructura anatómica de hoja, número de capas de células. Estas alteraciones han sido puestas de manifiesto en diversas especies, lo que hace que estos parámetros morfológicos también puedan utilizarse para detectar contaminación ambiental (Silva et al., 2000; Moraes et al., 2000; Sant'Anna-Santos et al., 2006; Bruno et al., 2007). Cambios en los rasgos anatómico/epidérmicos podrían ser un indicador del estrés ambiental y se pueden recomendar, en áreas de alta densidad de tráfico, para la detección temprana de contaminación del aire urbano (Priyanka et al., 2013). En este contexto, el objetivo general del trabajo es evaluar el efecto de la densidad urbana sobre la anatomía foliar de dos especies arbóreas frecuentes en la ciudad de Paraná; un segundo objetivo es determinar qué características anatómico/foliares pueden ser utilizadas como indicadores de estrés ambiental.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar de estudio fue la ciudad de Paraná (31° 43' 55" latitud Sur y 60° 31' 25" longitud oeste) ubicada en el Departamento Paraná de la provincia de Entre Ríos, que conjuntamente con Misiones y Corrientes, conforman la Región Mesopotámica, por encontrarse limitada al oeste y al este por los grandes ríos Paraná y Uruguay. Se recolectaron muestras foliares de dos especies caducifolias frecuentes en el arbolado de alineación de la ciudad de Paraná, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall (fresno) y *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos (lapacho negro).

Se consideraron dos sitios de muestreo contrastantes en cuanto a intensidad de tránsito vehicular y densidad poblacional: a) "centro": la zona núcleo de la ciudad donde se verifica mayor actividad comercial, tráfico vehicular, densidad poblacional y menor cobertura de arbolado de alineación, y b) "barrios": zona periférica, residencial con menor densidad poblacional, tráfico vehicular y mayor cobertura verde. En estas zonas se seleccionaron y georreferenciaron 4 individuos por especie y sitio. Para cada individuo se recolectaron 10 muestras foliares de hojas completamente desarrolladas y de ramas orientadas hacia la calzada. Las muestras fueron rotuladas y conservadas en bolsas de papel hasta su procesamiento en laboratorio; en el mismo se lavaron con agua corriente y dispusieron en frascos con solución fijadora (FAA). Para el estudio de la anatomía foliar se realizaron cortes transversales. Se llevó a cabo la técnica de inclusión en parafina y corte con micrótopo rotativo para la obtención de preparados permanentes (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

Del conjunto total de muestras se seleccionaron 4 hojas/árbol a partir de las que se obtuvieron entre 3 y 4 preparados por hoja, cada uno con 5 cortes histológicos seriados en promedio (n= 80). Se utilizó coloración metacromática con azul brillante de cresilo. Los transcortes fueron observados en microscopio óptico LEICA DM500 utilizando los lentes objetivos 10x y 40x; y lente ocular de 10x.

Para el estudio de la epidermis, se analizó la cara abaxial de la hoja, tomando la porción central del folíolo central. Para su obtención se realizaron distintas técnicas según la especie. Para *F. pennsylvanica* se utilizó la técnica de raspado (D' Ambrogio de Argüeso, 1993) mientras que para *H. heptaphyllus* se utilizó la técnica de impronta con esmalte incoloro (Bruno et al., 2007, Priyanka et al., 2013, Tiwari y Pandey, 2017).

Todos los preparados fueron fotografiados con cámara LEICA ICC50 W, software LAS EZ Versión 3.4.0. Con software ImageJ (National Institute of Health, USA) se realizaron las mediciones. Previa calibración del mismo con retículo de Neubauer, se determinaron las siguientes variables:

En transcortes:

EH: Espesor de hoja (μm).

EM: Espesor de mesófilo (μm).

Para cada variable se realizaron entre 5 y 10 mediciones/hoja.

En epidermis:

FCE: Frecuencia de células epidérmicas (Nº de células epidérmicas propiamente dichas/ mm^2).



FE: Frecuencia estomática (Nº de estomas/mm²).

IE: Se calculó el Índice estomático (%) según Wilkinson (1979).

$$IE = \frac{NE}{CE + NE} * 100 \quad \text{donde, NE es el número de estomas por campo de observación y CE es el}$$

número de células epidérmicas típicas en el campo de observación.

FPP: Frecuencia de pelos peltados (Nº de pelos/mm²).

Para determinar FCE, FE e IE se analizaron 4 hojas, tomándose 5 campos al azar con el lente objetivo 40x y lente ocular de 10x, cubriendo cada campo una superficie de 66.609,407 µm². Para la determinación de FPP se analizó de igual manera, pero sobre un campo de una superficie de 1.082.000 µm².

Para evaluar el efecto de los tratamientos en la variabilidad de las variables respuesta, se realizaron ANOVA con submuestreo (α=0,05) considerando a las hojas como submuestras. Los datos fueron procesados con software R versión 4.1.3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables EH y EM mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sitios, siendo ambos espesores menores en las hojas provenientes de la zona más urbanizada de la ciudad (*centro*), para ambas especies (Cuadro 1). La reducción promedio de EH fue de 15 % y 17 %; mientras que en EM fue de 17 % y 13 % para fresno y lapacho respectivamente. Otros investigadores encontraron resultados similares en la reducción de los espesores de los tejidos foliares en individuos provenientes de zonas contaminadas, por ejemplo, en *Tanacetum vulgare* (Stevovic, et al., 2010), en *Ficus bengalensis*, *Guaiacum officinale* y *Eucalyptus* sp. (Jahan & Zafar Iqbal, 1992), en *Trifolium montanum* (Gostin, 2009).

Cuadro 1: Medias ± desviación típica para cada una de las variables de transcortes de hoja y epidermis de *Fraxinus pennsylvanica* y *Handroanthus heptaphyllus*.

Especie	Sitio	EH	EM	FCE	FE	IE	FPP
		µm	µm	Nº de cél. epid./mm ²	Nº de estomas/mm ²	%	Nº de pelos/mm ²
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	B	210,54 ± 23,59	182,14 ± 23,02	4002,88 ± 313,76	293,79 ± 77,74	6,76 ± 1,44	25,40 ± 7,37
	C	178,13 ± 30,26 *	151,30 ± 29,02 *	3773,49 ± 782,41	232,20 ± 75,45 *	5,76 ± 0,89 *	18,01 ± 5,31 *
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	B	158,37 ± 23,61	120,71 ± 19,31	3004,13 ± 319,85	273,05 ± 39,58	8,55 ± 1,73	13,59 ± 5,13
	C	135,02 ± 105,03 *	105,03 ± 25,75 *	3089,28 ± 329,32	263,62 ± 55,01	7,81 ± 1,12	9,39 ± 3,52 *

EH: Espesor de hoja, EM: Espesor de mesófilo, FCE: Frecuencia de células epidérmicas, FE: Frecuencia estomática, IE: Índice estomático y FPP: Frecuencia de pelos peltados. B: Barrios, C: Centro * indica diferencias significativas entre sitios (p<0,05).

Se observa además, una desorganización del tejido parenquimático en empalizada en muestras provenientes de la zona *centro* para la especie *F. pennsylvanica*; esta desorganización se visualiza como separación irregular de las células parenquimáticas que dejan espacios intercelulares atípicos en este tejido.

Tiwari y Pandeyu (2017), estudiando hojas de *Lantana camara*, encontraron que la FCE disminuía en zonas contaminadas; en este trabajo no se encontraron diferencias significativas para esta variable en ninguna de las dos especies. Para FE sólo hubo diferencias significativas en fresno, con una frecuencia estomática 21 % menor en hojas provenientes de la zona *centro*. Ferriol et al. (2014) encontraron que, tanto en *Brachychiton populneum* como en *Quercus ilex*, la densidad de estomas disminuía en zonas polutas, lo que coincide con lo encontrado aquí para *F. pennsylvanica*. El IE es menor en ambas especies en sitios de mayor intensidad de urbanización, aunque esta reducción es estadísticamente significativa sólo en fresno (21 %). La disminución del IE en individuos creciendo en zonas contaminadas ha sido documentada en otras especies como en *Calotropis procera* (Tiwari y



Pandeyu, 2017) y en *Ligustrum lucidum* (Bruno et al., 2007). Mediante la disminución de la densidad estomática, la planta puede ajustar su absorción de gases, reduciendo así la absorción de contaminantes sin afectar la captura de dióxido de carbono (Balasooriya et al., 2009). Gostin (2009) sugirió que la reducción del tamaño estomático puede ser una estrategia de la planta para evitar que los contaminantes perjudiquen otras actividades fisiológicas.

En cuanto a la densidad de pelos (FPP) se encontró un patrón común en ambas especies; la frecuencia de los mismos se reduce para la zona centro, siendo un 29 % menor para fresno y un 31 % para lapacho.

4. CONCLUSIONES

Se aprecia un efecto de la intensidad de urbanización y uso del ambiente sobre las características anatómicas de las hojas en las dos especies estudiadas. Tanto *F. pennsylvanica* como *H. heptaphyllus* muestran una respuesta al ambiente modificando la anatomía de sus hojas. A partir de los datos obtenidos se podrán utilizar las variables anatómicas EH, EP, FE, IE y FPP en fresno; y EH, EP y FPP en lapacho negro como indicadoras de contaminación. La información obtenida es inédita para las especies evaluadas, encontrando una relación estrecha entre la intensidad de urbanización y la respuesta que evidencian estas especies en los cambios de su morfología foliar. Los resultados de este estudio se visualizan como un aporte que puede ser utilizado para la realización de diagnósticos de polución urbana.

5. LITERATURA CITADA

- AKSOY, A., SAHIN, U., DUMAN, F. 2000. *Robinia pseudo-acacia* L. as a possible biomonitor of heavy metal pollution in Kayseri. Tr J Bot; 24(5): 279–84.
- ALCALÁ, J., SOSA, M., MORENO, M. QUINTANA, C., QUINTANA, G., MIRANDA, S., RUBIO, A. 2008. Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua, México. Multequina 17: 39-54.
- BALASOORIYA, B. L. W. K., SAMSON, R., MBIKWA, F., VITHARANA, U.W.A., BOECKX, P., VAN MEIRVENNE, M. 2009. Biomonitoring urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics. Environmental and Experimental Botany, 65, 386-394.
- BRUNO, G., STIEFKENS, L., HADID, M., LISCOVSKY, I., COSA, M.T., DOTTORI, N. 2007. Efecto de la contaminación ambiental en la anatomía de la hoja de *Ligustrum lucidum* (Oleraceae). Bol. Soc. Argent. Bot. 42 (3-4): 213-236.
- COCOZZA, C., RAVERA, S., CHERUBINI, P., LOMBARDI, F., MARCHETTI, M., TOGNETTI, R. 2016. Integrated biomonitoring of airborne pollutants over space and time using tree rings, bark, leaves and epiphytic lichens. Urban Forestry & Urban Greening 17: 177 – 191.
- D'AMBROGIO DE ARGUESO, A. 1986. Manual de Técnicas en Histología Vegetal. 1º ed. I-II, 1-83. Ed. Hemisferio Sur S.A., Argentina.
- EHRAMPOUSH, M.H., MIRIA, M., SALMANI, M.H., MAHVI, A.H. 2015. Cadmium removal from aqueous solution by green synthesis iron oxide nanoparticles with tangerine peel extract. J Environ Health Sci Eng 13:1.
- FERRIOL, M., MUÑOZ, S., MERLE, H., GARMENDIA, A., LÓPEZ, C. 2014. Papel de los árboles ornamentales como bioindicadores de la contaminación atmosférica urbana. VI Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental, Valencia 1-3 Octubre 2014. Actas de Horticultura 68: 292.
- GOSTIN, I. N. 2009. Air Pollution Effects on the Leaf Structure of some *Fabaceae* Species. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 37 (2) 2009, 57-63
- JAHAN, S., ZAFAR IQBAL, M. 1992. Morphological and anatomical studies of leaves of different plants affected by motor vehicles exhaust. Journal of Islamic Academy of Sciences 5:1, 21-23.
- MIRI, M., ALLAHABADI, A., GHAFFARI, H.R., FATHABADI, Z.A., RAISI, Z., REZAI, M., AVAL, M.Y. 2016. Ecological risk assessment of heavy metal (HM) pollution in the ambient air using a new bio-indicator. *Environ Sci Pollut Res*.
- MORAES, R. E., CARVALHO DELITTI, W. B., PROENCA VIEIRA DE MORAES, J. A. 2000. Respostas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. à poluição aéreas de Cubatão, SP: fotossíntese líquida, crescimento e química foliar. Revista Bras. Bot. 23: 443-449.
- NOWAK, D.J., D.E. CRANE, J.C. STEVENS, 2006. Air pollution removal by urban trees in the United States. Urban Forestry and urban Greening 4: 115-123.



- PARK, K., DAM, H. 2010. Characterization of metal aerosols in PM10 from urban, industrial, and Asian dust sources. *Environ. Monit. Assess.* 160: 289–300.
- PAVLIK, M., PAVLIKOVA, D., ZEMANOVA, V., HNILICKA, F., URBANOVA, V., SZAKOVA, J. 2012. Trace elements present in airborne particulate matter – stressors of plant metabolism. *Ecotoxicol. Environ. Saf* 79: 101–107.
- PRIYANKA, R., MISHRA, R.M. 2013. Effect of urban air pollution on epidermal traits of road side tree species, *Pongamia pinnata* (L.) Merr. *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. Vol. 2, Issue 6, PP 04-07.
- QIU, Y., GUAN, D., SONG, W., HUANG, K. 2009. Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou. *Chemosphere* 75: 447–452.
- SANT'ANNA-SANTOS, B. F., CAMPOS DA SILVA, L., AZEVEDO, A. A., AGUILAR, R. 2006. Effects of simulated acid rain on leaf anatomy and micromorphology of *Genipa americana* L. (Rubiaceae). *Brazilian Arch. Biol. Techn.* 49: 313-321.
- SEOÁNEZ CALVO, M. 1971. Introducción a un estudio sobre la contaminación atmosférica y su relación con la vegetación. *CIHEAN. Options Mediterraneennes*. Oct. 57-62.
- SILVA, L. C., AZEVEDO, A. A., MONTEIRO DA SILVA, E. A., OLIVA, M. A. 2000. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas. *Revista Bras. Bot.* 23: 385-393.
- STEVOVI, S., SURINSKI MIKOVILOVI, V. DRAGOSAVAC, D. 2010. Environmental impact on morphological and anatomical structure of Tansy. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(16), pp. 2413-2421
- TIWARI, P. PANDEY, S. 2017. Impact of Cement Dust Pollution on Leaf Anatomical Features of *Lantana camara* and *Calotropis procera*. *Current Science International*. Vol 6, Issue 01. P 34-40.
- WILKINSON, H. 1979. The plant superface (mainly leaf). In: C.R. Metcalfe y Chalk (eds.). *Anatomy of Dicotyledons*. Oxford, Clarendon Press. London. pp. 97-165.



GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO EN SEMILLAS DE *Anisocapparis speciosa* (Griseb.) X. Cornejo & H.H. Iltis

María G. PAZ CORONEL¹, Nicolás F. HERRERA¹, Leonardo J. PISTAN¹, Tamara N. VALDEZ¹, Adriana B. BARROZO¹, Paola F. AGÜERO MARTINEZ¹, Antonieta N. SALADINO¹, Jorgelina A. VILLAGRA¹ y Adriana E. ORTIN^{1, 2}

RESUMEN

Anisocapparis, es un género monotípico de la familia Capparaceae y está representado en Argentina por *Anisocapparis speciosa*. Esta especie, más conocida como “bola verde”, es apreciada tanto por el ganado doméstico como por otros mamíferos, fundamentalmente en épocas y zonas donde se evidencia escasez de alimento, además de ser una importante fuente de néctar y una especie frutal con potencial. A pesar de ello, aún no se realizaron investigaciones sobre aspectos biológicos-fenológicos de sus semillas. El objetivo del trabajo es aportar al conocimiento de sus semillas tanto en viabilidad como en vigor a través del crecimiento de sus raíces. Se probaron dos tratamientos, un Testigo y otro (T1) con inmersión en agua destilada por 24 horas. El T1 mostró una mayor media en el número de individuos germinados aunque no estadísticamente significativa, menor variación entre las repeticiones y un porcentaje de germinación mayor al finalizar el ensayo. El crecimiento de raíces presenta una pequeña variabilidad, siendo ésta mayor en el T1. El crecimiento inicial fue mayor en el Testigo, pero al final del ensayo el crecimiento fue levemente mayor en las raíces de los individuos del T1. Es necesario continuar los ensayos con otros tratamientos a fin de encontrar mayores porcentajes de germinación de la especie.

Palabras clave: *bola verde, alimento, viabilidad, raíces*

1. INTRODUCCIÓN

Anisocapparis speciosa (Griseb), también conocida como bola verde, meloncillo, sachá limón, amarguillo, entre otras, es una especie de arbusto y único miembro del género monotípico *Anisocapparis*, perteneciente a la familia Capparaceae. Es originaria de Argentina, Bolivia, Paraguay y Brasil (SIB, s/f). En Argentina se distribuye en las provincias de Chaco, Corrientes, Formosa, Jujuy, Salta, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán. Crece de forma silvestre en casi todo el territorio, su pulpa y semillas son comestibles y muy apreciadas por las poblaciones indígenas que además le otorgan propiedades medicinales atribuidas por conocimientos etnobotánicos ancestrales (Rojas Beltrán et al., 2021).

Los frutos de *A. speciosa* resultan de consistencia similar a la de los mangos (*Mangifera indica* L.), su pulpa presenta un sabor agrídulce, entre mango y naranja, de allí algunas de sus denominaciones. Resulta principalmente utilizada como forrajera, el ganado no sólo consume los frutos sino también las hojas durante todo el año (Cornejo e Iltis, 2008).

Tálamo et al. (2021) destacan el potencial de dicha especie en procesos de restauración en sitios, sin embargo, no se cuenta con información más que descriptiva-taxonómica de la especie.

No se han encontrado trabajos sobre germinación de la especie ni otros aspectos de la semilla. Por ello el objetivo del presente trabajo es aportar información sobre algunos aspectos de la colecta de las semillas, así como de la viabilidad y crecimiento de las mismas.

¹ Universidad Nacional de Salta. Cátedra Ecología Forestal.

² CEFPBIO - Centro de Estudios Forestales, de Pastizales y Biodiversidad, Universidad Nacional de Salta; Contacto: adriana.e.ortin@gmail.com / 03874041307



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de *A. speciosa* se recolectaron durante diciembre 2021-marzo 2022, de 15 individuos diferentes, con una distancia mínima de 10 m entre ellos.

La colecta se realizó en la localidad de La Unión, departamento Rivadavia, provincia de Salta, que corresponde a la provincia fitogeográfica Chaqueña, Distrito Chaqueño Occidental (Cabrera, 1976). Esta localidad se encuentra a 45 km de Rivadavia, cabecera del departamento que presenta temperaturas promedio de 23 °C y precipitación media de 671 mm (Fuente: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/argentina/salta/rivadavia-144616/#climate-graph>). La comunidad fue capacitada previamente sobre la metodología a emplear para la correcta recolección.

Luego de colectados los frutos, las semillas se extrajeron manualmente. Si bien el material biológico recolectado presentaba un estado fisiológico uniforme, algunas semillas mantenían parte del material carnoso del fruto. Las semillas fueron almacenadas en laboratorio. Ante la falta de información publicada sobre sus condiciones de almacenamiento y naturaleza específica, se optó por conservarlas a temperatura ambiente dentro de bolsas de papel hasta su uso.

Los ensayos realizados se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ambiente y de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Se examinaron las semillas y algunas mantenían parte del fruto y otras se encontraban limpias sin restos del fruto. Por ello se decidió evaluar el ataque de insectos para cada grupo, separando un lote de 100 semillas al azar de cada grupo.

Se seleccionaron semillas que no presentaran signos de predación o anomalías. Para los ensayos se utilizó papel tissue de 30 cm x 20 cm aproximadamente, con líneas transversales cada 2 cm, sobre la línea central se numeraron las semillas. Se colocaron 5 semillas en la parte central con una separación de 2 cm aproximadamente, de modo que el embrión junto con la radícula quedarán orientados hacia abajo (Figura 1). Luego se plegó la parte basal y superior 2 cm y se armaron los rollos de papel no muy apretados, los cuales se colocaron en recipientes de plástico (Figura 2). Luego se cubrieron con bolsas de polietileno transparentes (BD 50x70). Se utilizó una cámara germinación marca INGELAB modelo I-502PFH utilizando un fotoperiodo de 12 horas de luz y 12 de oscuridad, a una temperatura constante de 25 °C ± 1 °C y HR del 50 % ± 5 %.

Se probaron dos tratamientos, un Testigo, el cual no recibió tratamiento pregerminativo; mientras que el Tratamiento 1 (T1) consistió en la inmersión de las semillas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Para cada tratamiento se realizaron 4 repeticiones de 25 semillas cada uno. Se observaron las semillas durante la germinación, describiéndose las más relevantes en este trabajo.



Figura 1. Cama de siembra.



Figura 2. Rollos en recipiente de plástico.

Se realizaron pruebas de vigor utilizando ensayos indirectos con la velocidad de crecimiento de raíces, condiciones de los cotiledones y aparición de hojas verdaderas.



Los ensayos se condujeron durante 30 días, aspecto recomendado por Baskin y Baskin (1991). Las semillas no germinadas en este período se consideraron como latentes o no viables. Durante las mediciones de crecimiento fue necesario desinfectar las semillas con una solución de hipoclorito de sodio al 2,6 % ya que se encontraron hongos como patógenos contaminantes. Aquellas que fueron afectadas fuertemente y se encontraban en estado de putrefacción fueron retiradas para no afectar el normal desarrollo de las semillas restantes.

Se consideró a una semilla como germinada con la emergencia de 2 mm de la radícula (ISTA, 2003).

Las variables registradas en cada ensayo fueron: porcentaje de germinación, longitud de la radícula y otros datos de importancia (presencia de hongos, características de la semilla, características de la radícula, etc.).

Se presentan los porcentajes de germinación de los dos tratamientos y la velocidad de crecimiento de las raíces para individuos que mantuvieron un crecimiento continuado durante todo el ensayo. Los datos fueron volcados a Excel y con este programa se calcularon las estadísticas básicas. Se realizó una prueba t para los porcentajes de germinación con Infostat.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las semillas que no presentaron restos de la pulpa del fruto, un 12 % exhibían cierto grado de predación, mientras que el 88 % restante se encontraban sanas. Las semillas del lote con pulpa remanente, el 28 % se encontraban predadas y el 72 % estaban sanas. Esto podría indicar que la presencia de restos del fruto afecta la conservación de las mismas, aspecto que deberá ser considerado en caso de seleccionar la especie para reproducción germinativa en viveros.

En cuanto a características cualitativas, la semilla fue adquiriendo una coloración verdosa hasta quedar totalmente verde, presenta radícula pilosa, curvada y de coloración blanquecina. En algunos casos, presentó además raíces adventicias. Cornejo e Iltis (2021), describen a la especie con un cotiledón mayor compacto y otro cotiledón muy reducido o ausente. En los resultados se logró observar un único cotiledón compacto y engrosado de color verde, la radícula se desarrolla desde uno de los extremos del cotiledón por donde emerge también el tallo que crece inmediatamente encima de la radícula en sentido opuesto, además se logra distinguir una especie de capa traslúcida escamosa que cubre al cotiledón (Figura 3 y 4).



Figura 3. Semilla de *Anisocapparis speciosa* germinada.

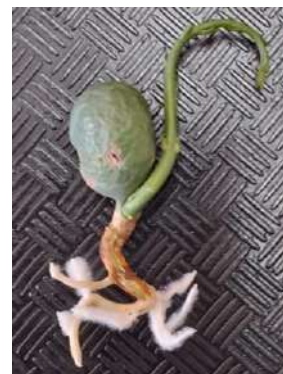


Figura 4. Tallo y raíz de *Anisocapparis speciosa* a 30 días de observación.

Durante el ensayo, el desarrollo de hongos también afectó la radícula, influyendo sobre el crecimiento y supervivencia de las plántulas.

Los valores de las estadísticas de los tratamientos se presentan en el Cuadro 1. Las medias entre los tratamientos no fueron estadísticamente diferentes. La mayor variabilidad del tratamiento testigo se observa dado que en la repetición 4 se obtuvo una germinación tres veces mayor que en las repeticiones subsiguientes (Figura 5), siendo el tratamiento T1 de menor variabilidad.



Cuadro 1. Estadísticas de la germinación de *Anisocapparis speciosa* por los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	N	GERMINACIÓN DE <i>ANISOCAPPARIS SPECIOSA</i>					CV (%)
		MEDIA	DS	MAX	MIN	EE	
TESTIGO	4	6	4,83	13	2	0,30	80,5
T1	4	9	2,71	13	7	0,17	30,1

N= número de repeticiones, DS: desviación estándar, Max: Valor máximo; Valor mínimo, EE: error estándar, CV: coeficiente de variación

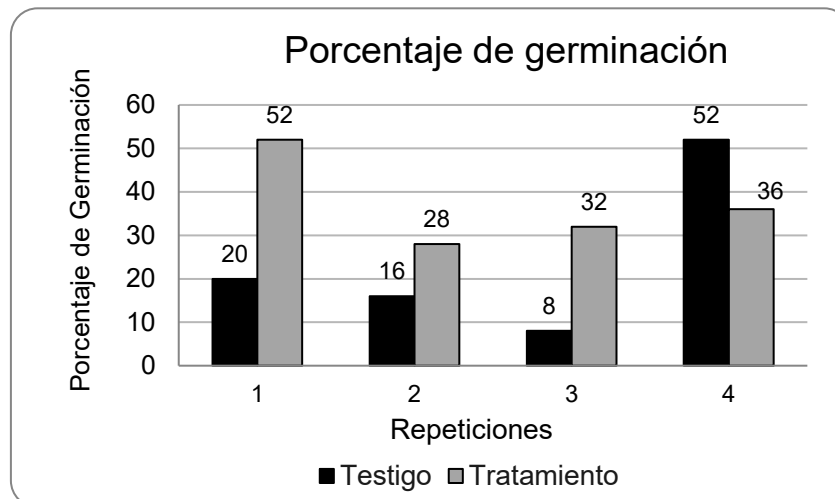


Figura 5. Porcentaje de germinación por repetición y tratamiento.

Durante los primeros seis días de observación no se produjeron germinaciones. El Testigo tuvo un mayor porcentaje de germinación inicial (14 %) que el Tratamiento 1 (7 %), a los ocho días de observación. Sin embargo, el Testigo tuvo un menor porcentaje de germinación final (24 %) en comparación con el Tratamiento (36 %) (Figura 6).



Figura 6. Porcentaje de germinación en función del tiempo para *Anisocapparis speciosa*.

El crecimiento de raíces presenta valores similares para los dos tratamientos (Cuadro 2). Comparando el coeficiente de variación, el tratamiento Testigo presenta una mayor variación que el T1. Los individuos tomados para este análisis fueron los que mantuvieron raíces hasta los 24 días del ensayo. La eliminación de individuos fue por pudrición de las raíces o de las semillas.

Cuadro 2. Estadística para la velocidad de crecimiento de raíces de *Anisocapparis speciosa* por los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	N	CRECIMIENTO DE RAÍCES DE <i>ANISOCAPPARIS SPECIOSA</i>					CV (%)
		MEDIA	DS	MAX	MIN	EE	
TESTIGO	10	2,07	1,34	4,3	0,3	0,08	64,73
T1	7	2,27	1,14	4	0,6	0,07	50,22

N= número de individuos, DS: desviación estándar, Max: Valor máximo; Valor mínimo, EE: error estándar, CV: coeficiente de variación



Sin embargo, se evidencia un mayor crecimiento inicial de las raíces de los individuos del tratamiento Testigo, aunque con el avance del ensayo se evidencia un mayor crecimiento en los individuos del Tratamiento T1 (Gráfico 7).

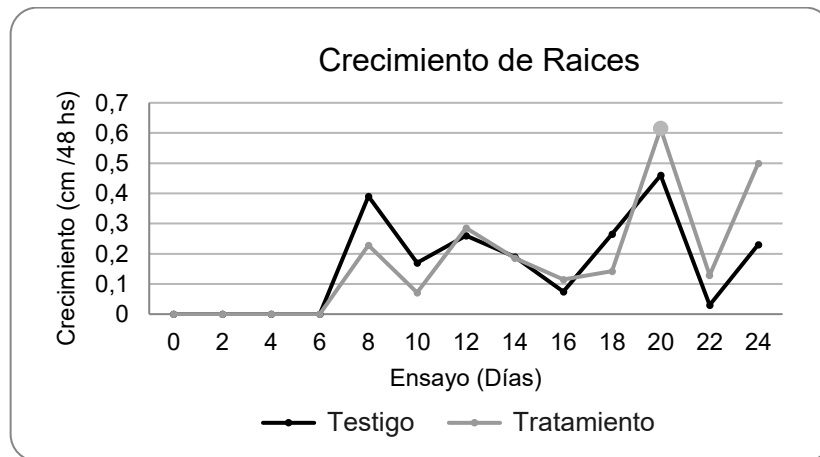


Gráfico 7. Crecimiento de raíces de *Anisocapparis speciosa*.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo realiza aportes al conocimiento de la germinación de una especie que resulta de interés forrajero y de consumo en el Chaco. La especie muestra de forma característica el desarrollo de un cotiledón que se tiñe de verde y, según las observaciones realizadas, se comporta como hipógeo. La radícula emerge de uno de los extremos y de ella se desarrolla el primer tallo de la plántula.

Con relación a la recolección se recomienda obtener semillas lo más limpias posibles de la pulpa del fruto ya que se evidenció una mayor predación en 4 meses de conservación en aquellos que mantenían restos del mismo.

Anisocapparis comenzó a germinar a los 6 días del ensayo. Los resultados muestran que no existen diferencias entre los tratamientos. El tratamiento con inmersión en agua por 24 horas mostró una mayor media en el número de individuos germinados, menor variación entre las repeticiones y un porcentaje de germinación mayor al finalizar el ensayo.

En cuanto al crecimiento de raíces, aunque se presenta un crecimiento inicial mayor en el testigo, al final del ensayo el crecimiento fue levemente mayor en las raíces de los individuos del Tratamiento T1.

Es necesario continuar los ensayos con otros tratamientos a fin de encontrar un mayor porcentaje de germinación de la especie y procurar una emergencia más rápida de las hojas verdaderas.

5. LITERATURA CITADA

- BASKIN, J. M. & BASKIN, C. C. 1991. Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. In: Leck, M. A.; Parker, V. T. y Simpson, R. L. Eds. Ecology of Seeds Banks. San Diego, Academic Press, 1989.
- CABRERA, A. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Fascículo. 1. Ed. Acme S.A.C.I., 85 pp.
- CORNEJO, X. E. & ILTIS, H. H. 2008. *Anisocapparis* and *Monilicarpa*: Two new genera of Capparaceae from South America. Journal of the Botanical Research Institute of Texas.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 2003. International rules for seed testing. Ed. ISTA, Suiza, 550p
- ROJAS BELTRÁN, J., ROJAS VARGAS, E. y PACO CABRERA, P. 2021. Estudio etnobotánico de la alcaparra (*Capparis speciosa* Griseb), árbol forrajero del Cono Sur del Departamento de Cochabamba. Revista de Agricultura, Nro 64 - Julio de 2021.
- SIB. Sistema de Información de Biodiversidad. s/f. *Anisocapparis speciosa*. Recuperado de <https://sib.gob.ar/especies/anisocapparis-speciosa?tab=info-general>
- TÁLAMO, A., MARTÍNEZ-GÁLVEZ, M. F., TRIGO, C. V., PÉREZ VISCARRA, S., ALAUIE A. E. y NÚÑEZ-REQUEIRO M., 2021. Ganadería, regeneración y restauración: experiencias desde el bosque chaqueño. Multequina 30 (2): 199-209.



***Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht: VELOCIDAD DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE SUS SEMILLAS EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

Nicolás F. HERRERA¹, María G. PAZ CORONEL¹, Fernanda AGÜERO MARTINEZ¹,
Tamara N. VALDEZ¹, Leonardo J. PISTAN¹, Adriana B. BARROZO¹, Antonieta N.
SALADINO¹, Jorgelina VILLAGRA¹ y Adriana E. ORTIN^{1,2}

RESUMEN

Aspidosperma quebracho-blanco Schlecht, es una especie forestal chaqueña que destaca por su uso social, económico y por las propiedades tecnológicas, químicas y físicas de su madera. El objetivo del trabajo fue evaluar la germinación de sus semillas, crecimiento de raíces y de la parte aérea. Las semillas fueron colectadas en enero/22. Se probaron un tratamiento testigo (Test) y el Tratamiento 1 (T1) donde las semillas se sumergieron en agua con lavandina al 5 % durante 24 horas. Se utilizó una cámara de germinación con temperatura 25 °C, fotoperiodo 12/12 h y humedad 50 %. Se consideró semilla germinada cuando la emergencia de la radícula alcanzó los 2 mm. La velocidad de crecimiento se analizó como longitud de la radícula y la longitud de la parte aérea. La especie expuso una germinación rápida de un 50 % en un periodo de 6 días. El T1 aceleró un 20 % la germinación en los dos primeros días. Los rangos de crecimiento de la raíz fueron menores en el T1 que los del Test, situación similar para el crecimiento de la parte aérea donde el Test muestra individuos mayores. Para la germinación es necesario contar con un rango de humedad mayor en un período de 2 días para estimular el crecimiento de la radícula.

Palabras clave: *crecimiento de radícula, crecimiento de parte aérea, vigor, tratamientos*

1. INTRODUCCIÓN

Aspidosperma quebracho-blanco (quebracho blanco), es una especie característica de la Provincia Fitogeográfica Chaqueña, que en Argentina se extiende por Formosa, Chaco, este de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca y La Rioja; todo Santiago del Estero, oeste de Corrientes, norte de Córdoba y Santa Fe y norte de San Luis, en los Distritos Chaqueño Oriental, Occidental y Serrano (Cabrera, 1976), aunque también se lo encuentra en la provincia del Monte y Mesopotámica (Giménez y Moglia, 2003).

Es considerada una especie de alto valor, tanto social como económico. Es utilizada predominantemente para la elaboración de los productos tradicionales (carbón, leña y durmientes, madera aserrada), es apto para parquet aunque presenta problemas en algunas aplicaciones debido a su inestabilidad y su tendencia a sufrir contracciones, hinchamientos y alabeos lo que hacen que su uso sea limitado (Giménez y Moglia, 2003). Posee una densidad de 0,850 g/cm³, siendo difícil de trabajar, aserrar, clavar y cepillar por su grano entrecruzado y su dureza (UNLP, s/f). Naumann y Mereles (1997) han descrito usos medicinales de su corteza para numerosas afecciones y formas de empleo.

A. quebracho-blanco Schlecht es un árbol cuyos ejemplares adultos llegan a los 20 m de altura y 1 m de DAP, aunque en un clima xerófilo puede reducir su altura a 7 m o menos.

Los frutos son cápsulas leñosas, aovadas, de 7 a 11 cm de longitud por 4 a 6 cm de ancho y 1 a 2 cm de espesor. Las semillas, suborbiculares, de diámetro entre 5 y 7 cm, fuertemente comprimidas, presentan un delgado tegumento que se prolonga en forma de ala membranosa (Orfila, 1995).

¹ Universidad Nacional de Salta. Cátedra Ecología Forestal.

² CEFPBIO - Centro de Estudios Forestales, de Pastizales y Biodiversidad, Universidad Nacional de Salta. Contacto: adriana.e.ortin@gmail.com / 03874041307



La floración de esta especie se inicia a principios del verano, madurando los frutos a finales de invierno, con algunas variaciones según el año climático o la zona donde se encuentre.

Respecto de la ecología y del manejo, en bosques naturales la especie muestra características de oportunista, capaz de germinar e instalarse luego de un disturbio importante como el fuego (Del Castillo et al., 1998). Otros autores consideran que es una especie tardío sucesional y que requiere de mecanismos de facilitación para instalarse (Barchuk et al., 1998; Barchuk y Díaz, 2000).

Existe escasa información acerca de las características reproductivas de esta especie y generalmente está vinculada a aspectos tales como la rápida pérdida del poder germinativo de sus semillas y el escaso vigor de las plántulas (Orfila, 1995). Es por esto que el presente estudio aporta al conocimiento de la viabilidad de las semillas y una medición indirecta del vigor a través del crecimiento de raíces y parte aérea, comparando dos tratamientos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de semillas de quebracho blanco se llevó a cabo en enero de 2022, por miembros de la comunidad wichi de la localidad de La Unión, en el departamento de Rivadavia, provincia de Salta. Esta localidad se encuentra a 45 km de Rivadavia, cabecera del departamento que presenta temperaturas promedio de 23 °C y la precipitación anual ronda los 2064,7 mm (SMN, 2021). La comunidad fue capacitada previamente sobre la metodología a emplear para la correcta recolección. Se seleccionaron árboles mayores de 20 cm de DAP, con copa bien desarrollada.

Las semillas fueron almacenadas a temperatura ambiente, en el laboratorio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta ubicado en Salta Capital hasta su utilización para el presente trabajo. Los ensayos comenzaron el 14 de julio.

Se seleccionaron para los ensayos aquellas semillas que presentaban un buen estado sanitario y físico, luego se procedió a retirar el ala membranosa. Posteriormente se consideraron 2 tratamientos: Testigo o control (Test) donde las semillas no tuvieron un tratamiento pregerminativo y el Tratamiento 1 (T1) donde las semillas fueron sumergidas en agua con lavandina (3 % de concentración) al 5 %, durante 24 horas. Se realizaron 4 repeticiones por tratamiento.

Las semillas se colocaron en papel tissue de 30 cm x 20 cm aproximadamente, sobre el cual se trazaron líneas cada 2 cm, la línea central fue numerada y se asignó un número a cada semilla. Estas líneas tuvieron la función de guiar la medición de las raíces. Se seleccionó este ensayo a fin de poder estimar el crecimiento de las raíces.

En el tratamiento Test se colocaron 16 semillas (4 por hoja) y en el T1 25 semillas (5 por hoja) por repetición. Se seleccionaron las semillas que se encontraban sanas, dado que muchas se encontraban partidas o con evidencia de hongos. Las semillas se dispusieron horizontalmente, dado que se observó el embrión con esta disposición (Figura 1).



Figura 1. Disposición de las semillas en las camas de germinación

Las hojas se doblaron en los extremos y luego fueron enrolladas de forma tal que cubran y sujeten las semillas. Los rollos fueron colocados en un vaso de precipitado cubierto con bolsas plásticas



transparentes y sujetas con bandas elásticas, rotuladas según el tratamiento y hoja correspondiente. Luego se llevó a cámara de germinación modelo EXH M5000 BK LS CI TER de la marca INGELAB a una temperatura constante de 25 °C, con un fotoperiodo de 12/12 h y humedad del 50 %.

Las mediciones se realizaron cada 2 días. Se consideró a una semilla como germinada con la emergencia de 2 mm de la radícula (ISTA, 2003). El porcentaje final de semillas germinadas se estimó como la media entre réplicas, a los 30 días de iniciado el estudio.

La velocidad de crecimiento se analizó como longitud de la radícula y la longitud de la parte aérea que incluía el cotiledón y el primordio de tallo, con un total de 34 registros para el T1 y 12 para el Test. A partir de la décima medición, al no observarse emergencia radicular y ante un alto grado de afectación por hongos, se procedió a retirar y descartar el individuo (Figura 2).



Figura 2. Individuo afectado por hongos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie mostró que la radícula emerge excéntricamente de la semilla, aunque no se encontraron características que posibiliten recomendar un lado de la semilla para que esté en contacto con el suelo. Particularmente, presenta un desarrollo de cotiledón aéreo, similar a lo observado por Alzugaray et al. (2006).

La germinación fue mayor inicialmente con el T1 alcanzando un porcentaje cercano al 50 % a los dos días del ensayo. El Test tuvo un porcentaje menor a los dos días (aprox. 27 %), aunque alcanzó un 50 % a los 6 días del ensayo (Figura 3). Luego de los 6 primeros días del ensayo no hubo un incremento notable de germinación en ninguno de los dos tratamientos.

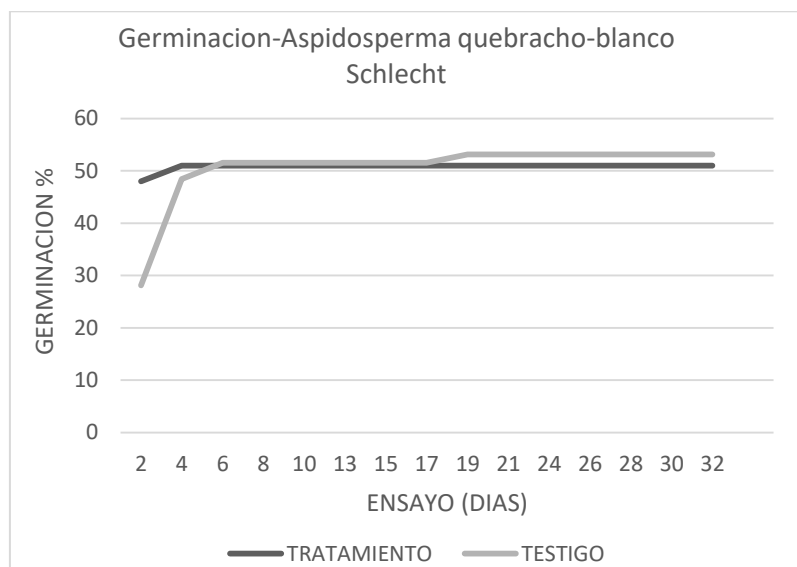


Figura 3. Porcentajes de germinación con los dos tratamientos en los días del ensayo



Estos resultados son consistentes con los reportados por Alzugaray et al. (2006) (3 meses y 51 % de germinación) y Guzmán et al. (2021) para semillas con guardado (4 meses de guardado y 66 % de germinación). Alzugaray et al. (2006) reporta un periodo de 8 días para la tasa máxima de germinación.

En el Figura 4 se muestran los porcentajes de los individuos que sobrevivieron a los 32 días del ensayo, por tratamiento, con sus respectivos rangos de tamaños de raíces. Se observa que sobrevivieron menos individuos del testigo (18.7 %) que del T1 (33 %). Sin embargo, el rango de raíces fue mayor en el testigo que en los individuos del tratamiento T1.

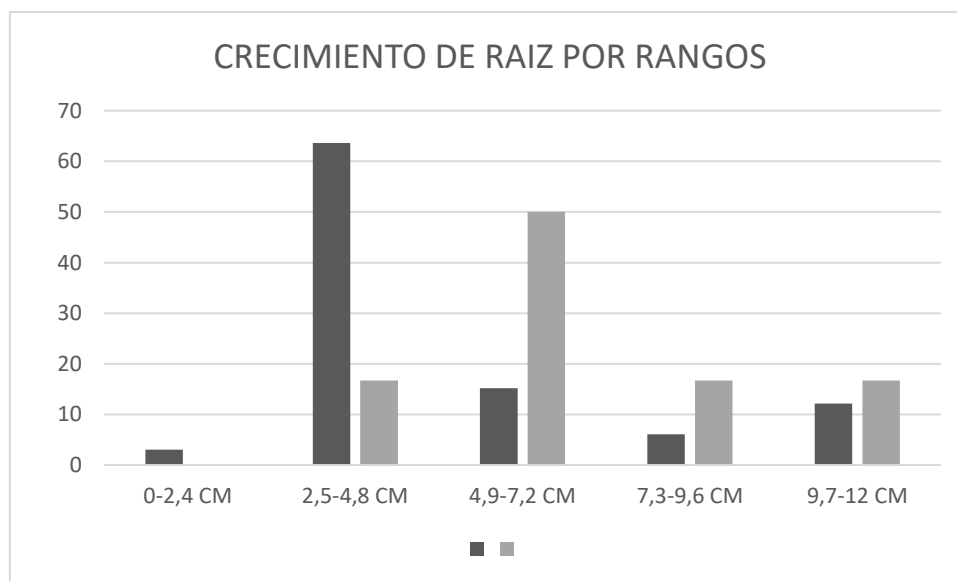


Figura 4. Rangos de tamaño de raíces al finalizar el ensayo, para el testigo y el T1, en porcentajes para los individuos sobrevivientes.

En el crecimiento de la parte aérea (que incluye el desarrollo del cotiledón y primordio del tallo) los resultados son similares a los del crecimiento de raíz. Existe un mayor porcentaje de individuos en el T1 con predominancia de los rangos 0-2,4 y 2,5-4,8, o sea de menores tamaños, que aquellos del Test con un crecimiento mayor (rangos 4,9-7,2 y 7,3-9,6) (Figura 5).

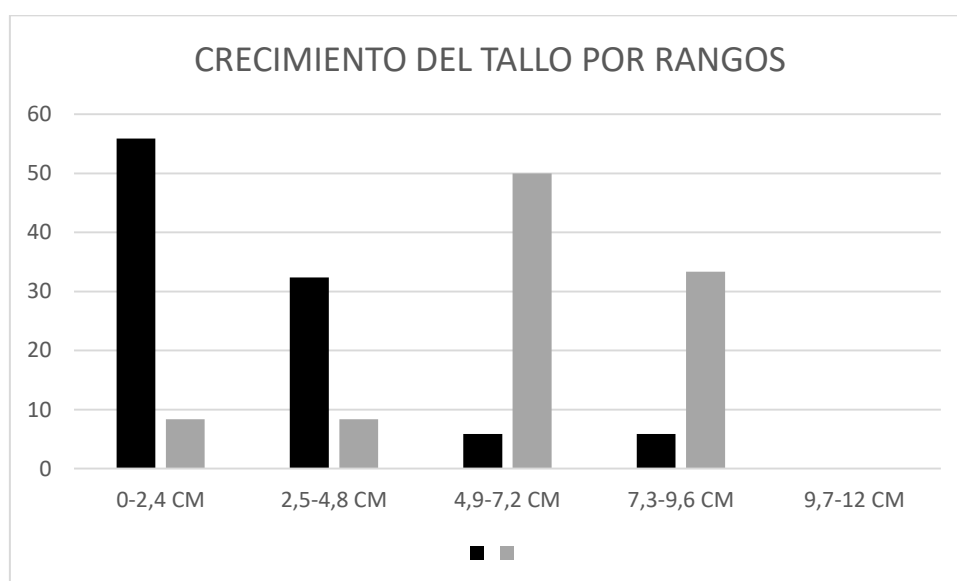


Figura 5. Rangos de tamaño del tallo al finalizar el ensayo, para el testigo y el T1, en porcentajes para los individuos sobrevivientes.



4. CONCLUSIONES

La especie muestra una germinación rápida en un periodo de 6 días, llegando al 50 % del total de los individuos. El T1 mostró que la inmersión en agua con lavandina puede acelerar en un 20 % la germinación en los dos primeros días. No se observaron cambios en los porcentajes de germinación de ambos tratamientos en los 32 días del ensayo.

Si bien existe una mayor sobrevivencia de los individuos del T1, se evidencia que los rangos de crecimiento de la raíz fueron menores que los del Test. Una situación similar sucede en el crecimiento de la parte aérea donde el Test muestra individuos mayores, para un mismo periodo del ensayo.

Es fundamental para la germinación de esta especie contar con un rango de humedad mayor en un período de 2 días para estimular el crecimiento de la radícula.

5. LITERATURA CITADA

- ALZUGARAY, C.; CARNEVALE, N. J.; SALINAS, A. R. y PIOLI, R. 2006. Calidad de semillas de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht. Quebracho (Santiago del Estero) N.13 Santiago del Estero.
- BARCHUK, A. H.; DÍAZ, M. P. 2000. Vigor de crecimiento y supervivencia de plantaciones de *Aspidosperma quebracho-blanco* y de *Prosopis chilensis* en el Chaco árido. Quebracho, 8: 17-29.
- BARCHUK, A. H.; DÍAZ, M. P.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; KARLIN, U. O. 1998. Experimental study on survival rates in two arboreal species from the Argentinian dry Chaco. Forest Ecology and Management, 103: 203-210.
- CABRERA, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Fascículo. 1. Ed. Acme S.A.C.I., 85 pp.
- DEL CASTILLO, E.; SARAVIA TOLEDO, C.; GIL, N. Y ZAPATER, M. A. 1998). Ecología y manejo del quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*). Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Chile. 15 pp.
- GIMÉNEZ, A.M. Y MOGLIA, J. G. 2003 Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico. Facultad de Ciencias Forestales y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- GUZMÁN, L.; DÍAZ, R. Y RICARTE, A. 2021. Evaluación de la viabilidad y facultad germinativa de tres especies leñosas de La Rioja. Revista TECNOÁRIDO. Año 3 - Nº 5 - Diciembre de 2021. Capítulo 6
- ISTA. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 2003. International rules for seed testing. Ed. ISTA, Suiza, 550 p.
- NAUMANN, R.D Y MERELES H., M.F. 1997. Las cortezas chaqueñas utilizadas en medicina popular. Rojasiana 4(1):11-24
- ORFILA, E. N. 1995. Frutos, semillas y plántulas de la flora leñosa argentina. Ediciones Sur. La Plata. Argentina.
- SMN. 2021. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. Extraído de: <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>
- UNLP. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Cátedra de Dendrología. Ficha Quebracho blanco Extraído de Quebracho Blanco (maderasenargentina.com.ar).



EFFECTO DE LA DERIVA SIMULADA DE GLIFOSATO EN ESPECIES DE INTERÉS FORESTAL

Paula GROSSO¹, Ignacio DELLAFERRERA¹, Adrián BENDER², Jonicelia ARAUJO², Mariel PERRETA¹

RESUMEN

Las especies utilizadas en distintas forestaciones son alcanzadas muchas veces por la deriva de herbicidas aplicados en superficies adyacentes, siendo afectadas en diferente medida. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del herbicida glifosato y la sensibilidad al mismo de especies forestales. Se utilizaron plantines de bauhinia, senna, lapacho rosado y lapacho amarillo. Se registró la supervivencia y dosis letal 50 en ensayos de dosis-respuesta y se cuantificó en hojas acumulación de ácido shikímico. Se analizó el efecto de dosis crecientes de glifosato (entre 0 y 39680 g ia ha⁻¹) sobre el patrón estructural de los plantines y la sintomatología presentada por los mismos. Hubo diferencias significativas de sensibilidad a la dosis de campo entre las especies estudiadas, siendo bauhinia y lapacho rosado las más sensibles. A las dosis más altas, estructuralmente todas las especies sufrieron daños; senna, bauhinia y lapacho rosado mostraron activación de yemas axilares como respuesta al herbicida, en diferente proporción y posición según la especie. Los resultados muestran diferencias de respuesta entre especies a pesar de sus bajas sensibilidades a glifosato que podrían ser ventajosas a la hora de seleccionar especies para forestaciones específicas.

Palabras clave: *herbicidas, sensibilidad, estructura*

1. INTRODUCCIÓN

Los herbicidas son la forma de control principal de las malezas en la mayoría de los sistemas de cultivo; y las áreas no objetivo, fuera de los campos de cultivo, son expuestas a herbicidas a través de una variedad de mecanismos, siendo quizás el más común la deriva (de Jong et al., 2008). En esas zonas, la deriva está en el orden de 1 a 25 % de la tasa de aplicación de campo, dependiendo del equipo, las condiciones climáticas, la distancia desde el borde del campo y la altura de la vegetación (Teske et al., 2009) y frecuentemente alcanza a los árboles adyacentes provocando muerte foliar y reduciendo el crecimiento (Tuffi Santos et al., 2011).

En las especies de menor sensibilidad o alcanzadas por subdosis, se puede generar la modificación de sus características estructurales (Panigo et al., 2012; Panigo et al., 2016; Dellaferrera et al., 2015). Los reportes de daños más frecuentes hacen referencia a incrementos en la mortalidad de las especies, reducción en la biomasa, pérdida de fecundidad y modificaciones en la morfología y el desarrollo (Gove et al. 2007; Santos Junior, 2015). Se han observado a nivel foliar, enrojecimiento, clorosis, curvado u ondeado de márgenes, modificaciones en la red de nervaduras y daño en la superficie de la lámina, así como la pérdida de los meristemas apicales (Boutz y Stack, 1986; Samtani et al., 2008; Machado et al., 2013).

El efecto de las formulaciones de herbicidas en las plantas no objetivo está directamente relacionado con la cantidad de principio activo que llega a las mismas y con las dosis aplicadas (Tuffi Santos et al., 2007).

La mayoría de las plantas son sensibles a la acción del glifosato que bloquea el ciclo del ácido shikímico provocando la muerte de la planta por falta de aminoácidos esenciales. El deterioro de los

¹ Iciagro Litoral (UNL-CONICET) FCA. Contacto: paulalgrosso@hotmail.com /3406-464043

² Facultad de Ciencias Agrarias (UNL).



procesos metabólicos generales como la síntesis de proteínas y la fotosíntesis, por competencia con el sitio de acción de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfosintetasa (EPSPs) se manifiestan externamente como clorosis general o moteada, manchas amarillas, morado de las hojas y necrosis (Eker et al., 2006).

Así mismo genera una gran acumulación de ácido shikímico que puede usarse como indicador de la sensibilidad de la especie a la exposición a este herbicida (Velini et al., 2008).

La sensibilidad entre especies y genotipos es el punto de partida para la comprensión de los mecanismos implicados en la sensibilidad diferencial de las plantas al glifosato (Tuffi Santos et al., 2007). Por lo que, es necesario conocer la acción de herbicidas en especies forestales no objetivo debido a que se dispone de escasa información al respecto, siendo pocos los reportes que documentan esta sensibilidad (Monquero et al., 2016; Percival, 2017).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las especies estudiadas fueron: *Senna spectabilis* (senna), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Standl (lapacho rosado), *Handroanthus albus* (Cham. Mattos) (lapacho amarillo) y *Bauhinia variegata* L. (bauhinia o pezuña de vaca), siendo las primeras tres especies nativas y la restante exótica y se trabajó con 60 plantines por especie, en plantación a campo.

Ensayo de dosis respuesta - Estudio del daño estructural y capacidad de recuperación: para determinar la sensibilidad de las distintas especies se aplicaron dosis crecientes de glifosato (0; 38,8; 77,5; 155; 310; 620; 1240; 2480; 4960; 9920; 19840; 39680 g ia ha⁻¹). Las aplicaciones se realizaron con una cámara de asperjado de laboratorio equipada con pastillas de abanico plano teejet 8001, calibradas para asperjar 200 l ha⁻¹ a una presión de 275 kPa.

Por plantín se determinó la supervivencia a los 30 días postaplicación, a través de una escala simple que indicaba si el ejemplar se encontraba vivo, parcialmente vivo o muerto. Con esos datos, se determinó para cada especie la Dosis Letal 50 (DL50). Además, se realizó el relevamiento de síntomas y se determinó: número de entrenudos, cantidad, posición y características de las ramificaciones. Con esta información se analizó el patrón estructural de los sistemas de ramificación, los efectos producidos por el herbicida y la respuesta postaplicación.

Estudio de la inhibición de la ruta del ácido shikímico: individuos de todas las especies fueron asperjados con una solución de glifosato a la dosis de campo (1240 g ia ha⁻¹), por lo que se trabajó con dos niveles: control (dosis 0) y aplicado. De cada ejemplar se cosecharon hojas para la extracción de ácido shikímico a las 48, 72, 96 y 168 horas luego de la aplicación. Las muestras se analizaron con el protocolo descrito por Singh y Shaner (1998) y la acumulación de ácido shikímico fue medida ópticamente a 382 nm usando un espectrofotómetro Biotraza 722. Los resultados fueron expresados como la diferencia de ácido shikímico entre planta tratada y planta no tratada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de ejemplares que mueren de las cuatro especies aumenta a medida que se incrementa la dosis de herbicida. Para los plantines estudiados la dosis letal 50 (DL50) mostró diferencias entre las especies, siendo senna y lapacho rosado las que requirieron mayores dosis: 1890,88 g ia ha⁻¹ y 1196,80 g ia ha⁻¹, respectivamente. Mientras que las especies bauhinia y lapacho amarillo requirieron dosis más bajas para alcanzar la ED50: 876,49 g ia ha⁻¹ y 876,99 g ia ha⁻¹, respectivamente. Por lo tanto, las dos primeras son las más sensibles de las estudiadas, quedando por debajo de las dosis recomendadas a campo. Mientras que senna requiere el doble de dosis en comparación con las demás especies. En otras especies forestales se reportan valores de DL50 de 793 g ia ha⁻¹ para *Acacia aroma* y 438 para *Celtis ehrenbergiana* y menores para otras especies de porte arbustivo (Ferreira, 2017)

Para el caso de lapacho amarillo, según Schwanke et al. (2008), su alta sensibilidad estaría directamente relacionada con la vellosidad de las hojas, influyendo en una mayor adhesión y tasa efectiva de absorción del herbicida. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la relación entre la



dosis de herbicida y el impacto que produce en las plantas no blanco está directamente relacionado con la cantidad del principio activo que llega a las mismas, que está asociado a las dosis usadas en el control de malezas (Tuffi Santos et al., 2007)

Acumulación de ácido shikímico

Se observó que existe acumulación en las 4 especies estudiadas (Cuadro 1) pero los valores encontrados en hoja son menores a $1 \text{ mg g}^{-1} \text{ sk}$, lo cual indica que no se produce inhibición de la enzima. A pesar de ello, la mayoría de las plantas son sensibles a la acción del glifosato que actúa bloqueando el ciclo del ácido shikímico al competir por el mismo sitio de acción con la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfat sintasa (Velini et al., 2008). Esto genera, como efecto secundario, una gran acumulación de ácido shikímico que puede usarse como indicador de la sensibilidad. Trabajos realizados en *Salix miyabeana* cultivar SX64 encontraron valores de acumulación iguales y mayores a 35 al aumentar la dosis de glifosato aplicada (Gomes et al., 2017).

Cuadro 1. Acumulación de ácido shikímico (mg g^{-1} de hoja) en función del tiempo en senna (*Senna spectabilis*), bauhinia (*Bauhinia variegata*), lapacho rosado (*Handroanthus impetiginosus*) y lapacho amarillo (*Handroanthus albus*) tratadas con una dosis de $1240 \text{ g ia ha}^{-1}$ de glifosato.

Especies	Día -hs			
	48	72	96	168
<i>Senna spectabilis</i>	$0,67 \pm 0,35$	$0,46 \pm 0,12$	$0,76 \pm 0,50$	$0 \pm 0,16$
<i>Bauhinia variegata</i>	$1,10 \pm 0,22$	$0 \pm 0,18$	$0,80 \pm 0,51$	$0 \pm 0,04$
<i>Handroanthus albus</i>	$0,81 \pm 0,37$	$0 \pm 0,07$	$0 \pm 0,09$	$0 \pm 0,15$
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	$0 \pm 0,15$	$0 \pm 0,09$	$0,48 \pm 0,07$	$0 \pm 0,04$

Estructura y capacidad de recuperación

Con respecto a la supervivencia y sintomatología se encontró:

-En bauhinia, las plantas control y las aplicadas con dosis bajas ($38,8$; $77,5$ y 155 g ia ha^{-1}) permanecieron vivas durante todo el ensayo. En general, a los 30 días postaplicación solo manifestaron diferentes síntomas en el follaje, en mayor o menor grado en función de la dosis (mayor dosis, mayor cantidad): caída de hojas y tejidos necróticos en los ápices de las mismas. A partir de la dosis 310 g ia ha^{-1} y dosis mayores, comenzaron a registrarse individuos muertos.

-En senna, el eje principal del plantín se encontraba constituido por 3 tramos de eje de orden creciente de ramificación en la mayoría de los ejemplares. Esta característica, está asociada a una mayor edad de las plantas en comparación con las restantes especies estudiadas. En esta especie, al finalizar el ensayo los individuos que recibieron las mayores dosis (a partir $4960 \text{ g ia ha}^{-1}$ en adelante) se vieron afectados en su totalidad, registrándose como individuos muertos desde los primeros relevamientos. Los ejemplares tratados a dosis menores ($38,8$ a 620 g ia ha^{-1}) presentaron sintomatologías y comportamientos diferentes como ser: zonas con folíolos no afectados hasta tramos secos o con folíolos cloróticos, así mismo en zonas medias del eje principal se pudieron observar numerosas ramificaciones.

-En lapacho rosado, se pudo establecer que aquellos que recibieron las menores dosis, presentaron escasos síntomas. En general, manifestaron coloración verde en todas sus estructuras foliares y se visualizaron hojas nuevas en el ápice de los tallos, un comportamiento similar al del control. En varios ejemplares se visualizaron hojas con coloración rojiza pálida que no seguían un patrón de distribución y algo de defoliación basal. En diferentes ejemplares se observaron manchas irregulares, cloróticas y necróticas en hojas. La mayoría de los ejemplares que recibieron la dosis de campo ($1240 \text{ g ia ha}^{-1}$) o mayores se vieron afectados casi en su totalidad y la mayor parte de los ejemplares se registraron como muertos.

-En lapacho amarillo durante el muestreo, todos los ejemplares pertenecientes al control y los tratados con las dosis más bajas, hasta 310 g ia ha^{-1} permanecieron vivos, a excepción de un solo plantín tratado con 310 g ia ha^{-1} , que fue afectado en su totalidad, ocasionándole la muerte. Los



síntomas más significativos fueron clorosis y necrosis en hojas y folíolos apicales. Para el resto de las dosis aplicadas la sintomatología más recurrente fue caída de hojas y presencia de tejidos necróticos en los ápices foliares, siendo este último el principal síntoma observado hasta la dosis de 620 g ia ha⁻¹. Al momento del primer muestreo, el 80 % de los plantines tratados con dosis mayores a 1240 g ia ha⁻¹ se encontraban muertos.

La arquitectura de una planta es el resultado del funcionamiento de sus meristemas (Tourn et al., 1999). A partir de su estudio es posible identificar la secuencia endógena de desarrollo y diferenciarla de los efectos debidos a la influencia del medio (Barthélémy, 2000), pudiendo comprender y predecir la respuesta estructural de una especie y las consecuencias que sobre la estructura final generarán diferentes dosis de glifosato. Los reportes de daños más frecuentes asociados a glifosato en árboles hacen referencia a incrementos en la mortalidad de las especies, reducción en la biomasa, pérdida de fecundidad y modificaciones en la morfología y el desarrollo (Gove et al., 2007).

Para las cuatro especies el efecto fitotóxico fue mayor a medida que aumentaron las dosis, tal como ha sido reportado para otras especies (Ferreira, 2017), pero la dosis de mayor efecto varió entre especies (Cuadro 1).

Con respecto al daño estructural en las especies estudiadas, a dosis medias, ya que muy pocos ejemplares sobrevivieron a las dosis altas, mostraron una respuesta de brotación, en diferente grado en cada una de las especies. En senna se manifestó una superbrotación, incluyendo modificaciones en la posición de las yemas que deberían activarse normalmente, puede generar modificaciones estructurales asociadas a un porte más arbustivo. Algo importante de remarcar, es que si bien a dosis bajas los efectos fueron menores en todas las especies, deberían plantearse ensayos más largos de crecimiento, dado que se conoce que en otras especies, como *Quercus alba*, las plantas dañadas por glifosato que no murieron se recuperaron pero lo hicieron muy lentamente (Samtani et al., 2008). La modificación de las características estructurales del vástago es otro efecto de la aplicación de herbicidas, que se manifiesta sobre las especies de menor sensibilidad o alcanzadas por subdosis (Panigo et al., 2012, 2016; Dellaferrera et al., 2015).

4. CONCLUSIONES

Las especies analizadas muestran sensibilidad diferencial a glifosato en estadio de plantación a campo, siendo las más sensibles bauhinia y lapacho amarillo. Sin embargo, ninguna muestra sensibilidad a glifosato confirmada por la acumulación de ácido shikímico a la dosis de campo. A pesar de esto, los resultados muestran diferencias de respuesta entre especies que podrían ser ventajosas a la hora de seleccionar la más adecuada para forestaciones específicas. Salvo a las dosis más bajas, todas las especies expresaron algún tipo de respuesta estructural que a largo plazo podría afectar la forma final de la planta, pudiendo impactar sobre la utilidad y el manejo posterior de la forestación.

5. LITERATURA CITADA

- BARTHÉLÉMY, D. 2000. Análisis, Modelización y Simulación Informática de la Arquitectura de las Plantas: Aplicaciones Agronómicas y Paisajistas. La Poble Llarga, Valencia, España: Ciudades arboladas para el siglo XXI: ponencias del IV Congreso ISA Europeo y V Español de Arboricultura.
- BOUTZ, G. A.; STACK, R. W. 1986. Herbicides (Air Pollution). En J. W. Riffle & G. W. Peterson, Diseases of trees in the great plains. (págs. 33-35). USDA ForestService. General Technical Report RM-129.
- DE JONG, F. M.; DE SNOO, G. R.; VAN DE ZANDE, J. C. 2008. Estimated nationwide effects of pesticide spray drift on terrestrial habitats in the Netherlands. *Journal of Environmental Management*, 86(4), 721-730. doi:10.1016/j.jenvman.2006.12.031
- DELLAFERRERA, I.; PANIGO, E.; GONZALEZ-TORRALBAR, F.; DE PRADO, R.; CHIRSTOFFOLETI, P.; PERRETA, M. 2015. Efecto del patrón de translocación, retención foliar y la baja sensibilidad a glifosato en la estructura de *Petunia axillaris*. *Planta Danihna*, 33(3), 451-462. doi:10.1590/S0100-83582015000300008
- EKER, S.; OZTURK, L.; YAZICI, A.; ERENOGLU, B.; ROMHELD, V.; CAKMAK, I. 2006. Foliar-Applied Glyphosate Substantially Reduced Uptake and Transport of Iron and Manganese in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10019-10025. doi:10.1021/jf0625196



- FERREIRA, M. F. 11 de 10 de 2017. Fragmentación del Bosque Chaqueño y cambios en el uso de la tierra: Efectos del glifosato en las plantas nativas.
- GOMES, M. P.; LE MANAC'H SG, S. G.; HÉNAULT-ETHIER L, L.; LABRECQUE, M., LUCOTTE, M.; JUNEAU, P. 2017. Glyphosate-dependent inhibition of photosynthesis in willow. *Frontiers in Plant Science*, 65, 1-13. doi:10.3389/fpls.2017.00207
- GOVE, B.; POWER, S. A.; BUCKLEY, G. P.; GHAZOUL, J. 2007. Effects of herbicide spray drift and fertilizer overspread on selected species of woodland ground flora: comparison between short-term and long-term impact assessments and field surveys. *Journal of Applied Ecology*, 44(2), 374-384. doi:10.1111/j.1365-2664.2007.01261.x
- MACHADO, V. M.; BARBAROSA SANTOS, J. B.; PEREIRA, I. M.; LARA, R. O.; CABRAL, C. M.; AMARAL, C. S. 2013. Sensibilidade de mudas de espécies florestais nativas ao glyphosate / Sensitivity of native forest species seedlings to glyphosate. *Biosci. j.*, 29(6), 1941-1951.
- MACHADO, A. F.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S.; FREITAS, F. C. 2010. Photosynthetic efficiency and water use in eucalyptus plants sprayed with glyphosate. *Planta daninha*, 28(2), 319-327.
- MONQUERO, P. A.; DA CUNHA BEVILAQUA, N.; VINICIUS DA SILVA, P.; SILVA HIRATA, A. C.; CORNÉLIO FERREIRA NOCELLI, R. 2016. Initial growth of tree species under herbicide drift. *Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 59(2), 162-172. doi:10.4322/rca.2197
- PANIGO, E. S.; ALESSO, A. C.; DELLAFERRERA, I. M.; OLIVELLA, J.; PERRETA, M. G. 2016. Morpho-Architectural Traits that Allow the Regeneration of *Eustachys retusa* (poaceae) in Systems with Intensive Glyphosate Application. *Planta Daninha*, 34(04), 709-719. doi:10.1590/S0100-83582016340400011
- PANIGO, E. S.; DELLAFERRERA, I. M.; ACOSTA, J. M.; BENDER, A. G.; GARETTO, J. I.; PERRETA, M. G. 2012. Glyphosate- induced structural variations in *Commelina erecta* L. (Commelinaceae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 76(1), 135-142. doi:10.1016/j.ecoenv.2011.10.002
- PERCIVAL, G. C. 2017. The influence of glyphosate on carotenoid pigments, reactive oxygen species scavenging enzymes and secondary stress metabolites within leaf tissue of three *Acer* species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 19-25. doi:10.1016/j.ufug.2017.03.018
- SAMTANI, J. B.; MASIUNAS, J. B.; APPLEBY, J. E. 2008. Injury on White Oak Seedlings from Herbicide Exposure Simulating Drift. *HortScience*, 43(7), 2076-2080. doi:10.21273/HORTSCI.43.7.2076
- SANTOS JUNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. D.; FELIX, R. C.; AMARAL, G. C.; CRUZ, L. 2015. Glyphosate drift in eucalyptus plants. *Planta daninha*, 33(3), 615-621. doi:10.1590/S0100-83582015000300024
- SCHWANKE, A. M.; NOLDIN, J. A.; ANDRES, A.; PROCÓPIO, S. O. 2008. Caracterização morfológica de ecótipos de arroz daninho. *Planta Daninha*, 26(2), 249-260.
- TESKE, M. E.; MILLER, P. C.; THISTLE, H. W.; BIRCHFIELD, B. N. 2009. Initial development and validation of a mechanistic spray drift model for ground boom sprayers. *Transactions of the ASABE*, 52(4), 1089-1097. doi:10.13031/2013.27779
- TOURN, G. M.; BARTHÉLÉMY, D.; GROSFELD, J. 1999. Una aproximación a la arquitectura vegetal: conceptos, objetivos y metodología. *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 34(1-2), 85-99.
- TUFFI SANTOS, L. D.; MEIRA, R. M.; FERREIRA, F. A.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; FERREIRA, L. R. 2007. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. *Environmental and Experimental Botany*, 59(1), 11-20. doi:10.1016/j.envexpbot.2005.09.010
- TUFFI SANTOS, L. D.; GRAÇA, R. N.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; MELO, C. A.; MACHADO, M. S. 2011. Glyphosate reduces urediniospore development and *Puccinia psidii* disease severity on *Eucalyptus grandis*. *Pest Management Science*, 67(7), 876-880. doi:10.1002/ps.2130
- VELINI, E. D.; ALVES, E.; GODOY, M. C.; MESCHEDÉ, D. K.; SOUZA, R. T.; DUKE, S. O. 2008. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. *Pest Management Science*, 64(4), 489-496. doi:10.1002/ps.1562

1° Corte Horizontal

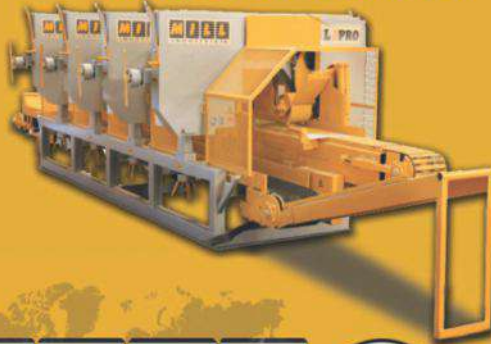


LÍNEAS
M/PRO
L/PRO
IG/FORCE

Tipo de corte:



Sierra Cinta Horizontal



Tipo de corte:



LÍNEAS
M/PRO
L/PRO
IG/FORCE



CHIPEADORA MILL



AFILADORA MILL



TRABADORA MILL



LÍNEAS
M/PRO
IG/FORCE

Tipo de corte:



Sierra Cinta Gemela



LÍNEAS
M/PRO
IG/FORCE

Tipo de corte:



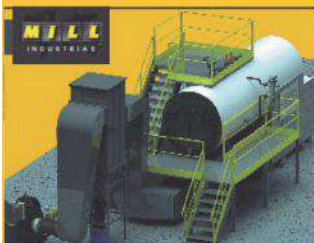
Sierra Cinta Bloque



-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

LAROCCA

INMOBILIARIA



- Venta Campos <<<<
- Forestaciones
- Casas
- Terrenos
- Madera en pie para aserraderos
- Estudio Jurídico especializado en sucesiones, derecho laboral y derecho de familia <>>>>>>

LA ERNESTINA

Barrio residencial Lotes sobre el lago

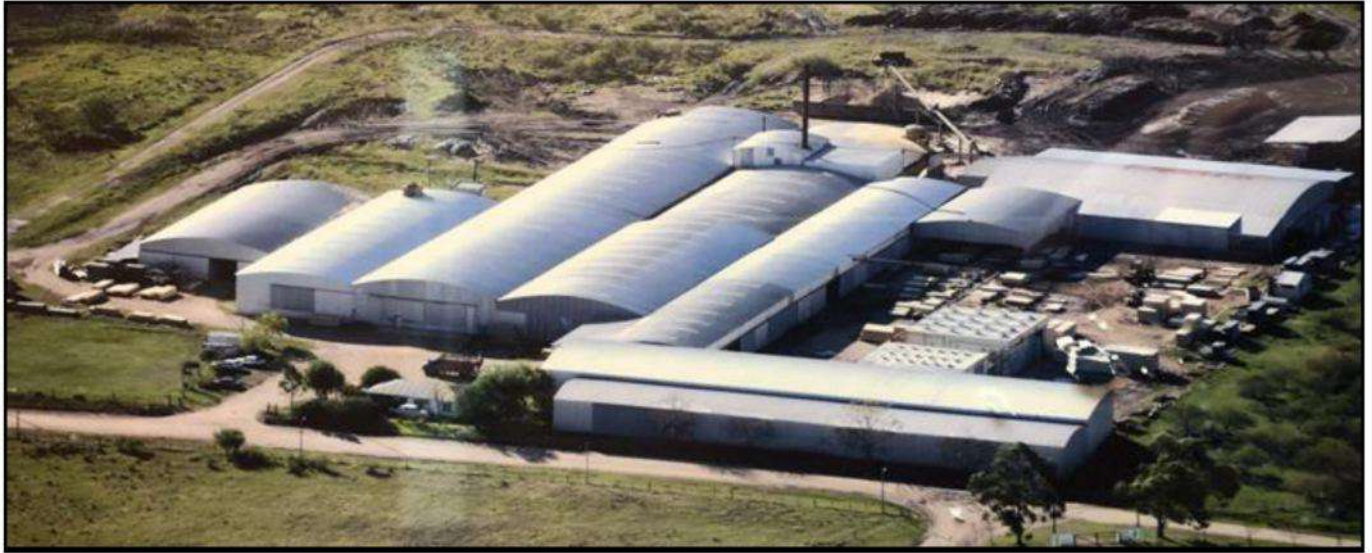
Federación, Entre Rios

>>> Contacto <<<



3454339300 -- 3454119901

ASERRADERO STELLA



Más de 30 años al servicio de nuestros clientes ofreciendo productos de calidad


- ❖ Tableros Alistonados
- ❖ Blanck Clear
- ❖ Machimbres
- ❖ S 4 S
- ❖ Secados de Horno
- ❖ Finger Joint



Tel/Fax: 54-345-4905061 – Ruta 14 km 205 – (3287)

Ubajay – Entre Rios – Argentina

E-mail: aserraderostella@gmail.com

 0345-156021615





Nimat

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

www.nimat.com.ar

seguinos



info@nimat.com.ar

 +345.4037669

(0345) 427.3333

Av. Mons. Tavella 1937

Concordia / E. R.



Beyga Humaitá_{SA}

” Una empresa forestal comprometida
con el sector y la región”

Oficina Concordia: Urquiza 486 - Tel (0345) 4225324



**FORESTADORA
SAN JUSTO**

Invierta en forestación



Forestadora San Justo tiene más de 40 años en el sector forestal. Nuestros servicios comienzan desde la preparación de la tierra, plantación y control. Brindamos un servicio personalizado para cada inversor. Contamos con vivero propio en la ciudad de Concordia.

Roberto A. Yoya

(0345) 156253855

J.J. Valle 926, Concordia, E.R.

yoyaforestal@concordia.com.ar

Nuestros servicios

01

**Servicios forestales
integrales**

02

**Vivero propio
inscripto en INASE**

03

Venta de montes en pie



Ruta 28 y Vías Fcc Urquiza
Los Charrúas (Entre Ríos)
Tel. 0345 490-7351

T TRACTOPARTES

FMF AGROPARTES SAS

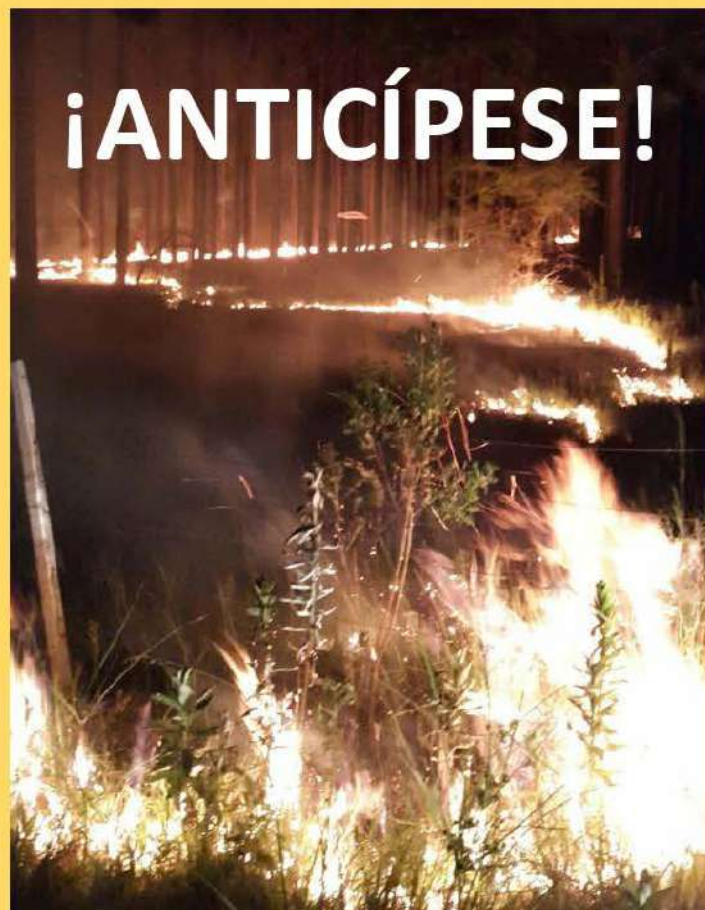
una amistad de fierro



San Lorenzo 247 (0) ☎ (0345) 421-5810/7523

📞 +549 3454986992 ✉ tractopartessa@tractopartessa.com.ar

3200 - CONCORDIA - ENTRE RÍOS - ARGENTINA



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

¿Cómo funciona una ACE?

Organizando a los productores en grupos para que tengan un plan de prevención y control de incendios, y fundamentalmente, coordinando en conjunto los sistemas de detección temprana de columnas de humo mediante torres de observación.

Participan de la ACE Empresas y Productores Forestales y Rurales, conscientes de que el trabajo de prevención es más eficiente y económico, y que la colaboración entre pares con un objetivo común minimiza los riesgos a enfrentar.



En la actualidad existen cuatro ACEs trabajando: ACE Concordia, ACE Humaitá, ACE Berduc y ACE Colón Norte.

Para mayor información comuníquese al
(0345) 15 4032065
o al mail aceriouruguay@gmail.com



Dorking clavos y grampas ofrece la línea más completa de **máquinas neumáticas** para la industria de la madera.



- Embalajes
- Construcción
- Muebles
- Logística



¡Seguinos en nuestras redes!

 www.dorking.com.ar

 [/dorkingclavosygrampas](https://www.facebook.com/dorkingclavosygrampas)

 [@dorking_clavosygrampas](https://www.instagram.com/dorking_clavosygrampas)

 [Dorking Clavos y Grampas](https://www.linkedin.com/company/dorking-clavos-y-grampas)



Satellites on Fire

Sistema de alerta temprana de incendios forestales y rayos con imágenes satelitales. Organizaciones delimitan sus territorios y reciben notificaciones en todos sus dispositivos de los últimos focos detectados.

¡Comienza tu prueba gratuita ingresando a **app.satellitesonfire.com!**



Ganadores del premio
Integral de empresas por la
Cámara de Comercio Suiza



Declarados de Interés
Científico y Tecnológico por
la Legislatura de CABA



Ganadores del
Concurso Nacional de
Innovaciones 2021



Julio Simón

Monitorea campos forestales

“

Lo bueno que tiene su sistema es la alerta temprana, que actualiza cada 10 minutos y nos permite saber con qué intensidad se desarrolla el incendio y con qué velocidad. Nos parece una herramienta super útil. Con el FIRMS (de la NASA), el foco puede tardar varias horas o varios días en aparecer.”

 @satellitesonfire  @SatsOnFire  satellitesonfire.com



**Adhiere a las
XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos
2022**



- 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

CONICET



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



MENDOZA
GOBIERNO



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Somos un evento
carbono neutro.
Medimos y
compensamos
las emisiones con
The Carbon Sink

27 al 30 de marzo de 2023

VIII Congreso Forestal Latinoamericano V Congreso Forestal Argentino

CONFLAT
VIII CONGRESO FORESTAL
LATINOAMERICANO



MÁS INFORMACIÓN EN:

El rol vital del bosque
en tiempos complejos
y cambiantes





XXXVI JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS



Concordia
Entre Ríos
Octubre
2022

ORGANIZAN



AUSPICIAN



Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina



CORRIENTES



PATROCINAN

INTERAGROVIAL



JOHN DEERE



Banco de la
Nación Argentina



Satellites On Fire

DORKING
CALIDAD DESDE SIEMPRE