



# Potencial dendroenergético de dos clones de *Eucalyptus* sp. en Corrientes, Argentina

## Dendroenergetic potential of two clones of *Eucalyptus* sp. in Corrientes, Argentina

Alejandro Daniel Maggio<sup>1,2</sup>, Federico Javier Caniza<sup>2</sup>, Juan Manuel Cellini<sup>3</sup> y Alejandro Martinez-Meier<sup>4,5,6</sup>

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista. Bella Vista, Corrientes, Argentina.

\* Autor de correspondencia.  
maggio\_alejandro@hotmail.com

3 Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Laboratorio de Investigación en Madera. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

4 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina.

5 Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina. Argentina.

6 Laboratorio Internacional Asociado FORESTIA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement – Universidad Nacional Autónoma de Huanta. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina

### RESUMEN

Las plantaciones forestales con fines energéticos tienen como objetivo la obtención de grandes cantidades de biomasa mediante rotaciones de corta duración. El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial dendroenergético de dos clones de *Eucalyptus* sp. creciendo en las lomas y planicies arenosas de Corrientes, Argentina. Se analizaron las relaciones entre productividad de biomasa y variables silvícolas, climáticas y ambientales. La sobrevivencia y la productividad en volumen fue alta. Se registraron diferencias significativas entre clones para la producción de biomasa en función de sus compartimentos y edad. A los 24 meses la producción de biomasa de fuste para un esquema de manejo de 3333 ha<sup>-1</sup> árboles fue de 32,2 Mg ha<sup>-1</sup> y 38,5 Mg ha<sup>-1</sup> del clon puro e híbrido, respectivamente. En un contexto de falta de limitaciones, desde el punto de vista climático y condiciones de sitio, es posible asociar la productividad anual de biomasa a la densidad de plantación. En suelos poco fértiles, ambos clones registraron alta productividad en altas densidades de plantación. El impulso a la generación de energías renovables a partir de la biomasa forestal es una oportunidad para Corrientes, ya que cuenta con el recurso y las condiciones climáticas favorables, aunque es necesario continuar estudiando el desarrollo de estos sistemas en ambientes frágiles, identificando las prácticas de manejo que disminuyan su impacto y favorezcan un manejo sustentable.

PALABRAS CLAVE: biomasa forestal, energía renovable, productividad, sustentabilidad.

### ABSTRACT

Forest plantations for energy purposes are aimed at obtaining large amounts of biomass through short-term rotations. The aim of this work was to study the dendroenergetic potential of two clones of *Eucalyptus* sp. growing in the hills and sandy plains of Corrientes, Argentina. The relationships between biomass productivity and forestry, climatic and environmental variables were analysed. Survival and productivity in volume were high. Significant differences were recorded between the clones evaluated for biomass production based on their compartments and age. At 24 months, the stem biomass production for a management scheme of 3333 ha<sup>-1</sup> trees was 32,245 Mg ha<sup>-1</sup> and 38,543 Mg ha<sup>-1</sup> of the pure and hybrid clone, respectively. In a context of lack of limitations, from the climatic point of view and site conditions, the annual biomass productivity can be associated with the planting density. In low-fertile fertile soils, both clones register high productivity in high planting densities schemes. The promotion of the generation of renewable energies from forest biomass is an opportunity for Corrientes, since it has the resource and favorable climatic conditions, although it is necessary to continue studying the development of these systems in fragile environments, identifying management practices that reduce their impact and favor sustainable management.

KEYWORDS: forest biomass, renewable energy, productivity, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

La dendroenergía es la energía producida a partir de la biomasa forestal (Trossero et al., 2009). Su oferta actual está compuesta por materiales heterogéneos a partir de residuos de aserraderos o de plantaciones forestales (podas y raleos o aclareos) (Spatari et al., 2010). Las plantaciones forestales con fines energéticos tienen como objetivo la obtención de grandes cantidades de biomasa mediante rotaciones de corta duración (Fernandez y Lupi, 2017), ofreciendo un producto de mayor homogeneidad y poder calorífico (Patiño-Diez y Smith-Quintero, 2008). El producto obtenido no requiere características especiales de calidad, aunque la densidad básica de la madera está directamente relacionada con la producción de energía. Cuanto mayor densidad, mayor cantidad de energía contenida por metro cúbico (Oliveira-Carneiro et al., 2014). La productividad de estos sistemas está relacionada con la tolerancia que puedan presentar las especies a una alta competencia por recursos, la fertilidad del suelo y las características climáticas del sitio (Baettig et al., 2010), configurando un modelo intensivo de uso del suelo y el paisaje (Fernandez y Lupi, 2017).

Si bien la dendroenergía tenía en Argentina un potencial equivalente a 47% del total del producto energético nacional (Trossero et al., 2009), en la actualidad solo representa 1,5% de dicha matriz (Secretaría de Energía, 2019). Se estima que el desarrollo de la generación de electricidad a partir de la biomasa forestal podría ser benéfico para las provincias que cuentan con el recurso, generando una nueva actividad con valor agregado y demanda de empleo local (Manolis et al., 2019). No obstante, aún no se tiene claridad acerca del impacto en términos ambientales y sociales (Young y Steffen, 2008).

En la región del noreste argentino se encuentra la mayor superficie de bosques implantados de la Argentina, con más de 800 000 hectáreas forestadas con especies de rápido crecimiento (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Dirección de Producción Forestal, 2015). Corrientes es la principal provincia forestada y de mayor potencialidad. Posee más de 60% de los recursos forestales implantados (Dirección de Recursos Forestales, Corrientes,

2018), principalmente con especies de *Pinus* sp. y *Eucalyptus* sp.; *Eucalyptus grandis* W. Hill representa 31% de dichos recursos. Las lomas y planicies arenosas del centro y sudoeste de Corrientes, de aproximadamente  $2 \times 10^6$  ha, representan 40% de la superficie con aptitud forestal de la provincia. Son suelos arenosos que presentan baja fertilidad natural, bajo contenido de materia orgánica y son susceptibles a la erosión hídrica y eólica (Escobar et al., 1996). Estos sitios se caracterizan por la fragilidad de los tipos de arenas predominantes (Entisoles y Alfisoles), poseen uno o más factores de estrés ambiental, tales como períodos de sequía por deficiencia de precipitaciones en relación con la demanda evapotranspirativa y/o condiciones edáficas que determinan una baja (o excesiva) disponibilidad de agua para las plantas (Aparicio, 2011).

Dado que en la provincia de Corrientes recientemente se han instalado proyectos dendroenergéticos, se hace necesaria una revisión de las prácticas de manejo silviculturales. Para *Eucalyptus* sp., no se dispone de información sobre producción de volumen y biomasa en esquemas de muy altas densidades, las líneas experimentales que se están desarrollando en este sentido son recientes (Fernandez y Lupi, 2016). En este trabajo se presentan los resultados de la producción de biomasa de fuste, ramas y hojas de dos clones de *Eucalyptus* sp. creciendo en las lomas y planicies arenosas de Corrientes. Los resultados son contrastados con datos provenientes de plantaciones forestales implantadas en esquemas de altas densidades de plantación, en turnos de corta duración. Esto genera conocimiento sobre la productividad de estos sistemas intensivos de corta rotación, contribuyendo a la implementación de tecnologías para la toma de decisiones, lo que permite asegurar la producción con fines dendroenergéticos en un marco de sustentabilidad ambiental.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial dendroenergético de un clon puro de *Eucalyptus grandis* y un clon híbrido de *Eucalyptus grandis*  $\times$  *Eucalyptus camaldulensis*



creciendo en las lomas y planicies arenosas de Corrientes, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en un ensayo de densidad de plantación de dos clones de *Eucalyptus* sp. establecido en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bella Vista del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en junio de 2016.

La EEA INTA Bella Vista se ubica a 28° 26' de latitud Sur y 58° 55' de longitud Oeste. El clima es subtropical sin estación seca, con una temperatura media anual de 20 °C. La temperatura media en el mes de julio varía entre 13 °C y 16 °C, y la media en el mes de enero entre 26 °C y 27 °C, con máximas absolutas que superan a los 40 °C. Las precipitaciones medias anuales son de 1256,5 mm (Carnevali, 1994). El suelo pertenece al orden Entisol (Paleudalfes psaménticos), arenoso a arenoso franco, sin estructura y presenta severas limitaciones: alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, baja fertilidad natural y baja retención de humedad. Presenta buenas condiciones físicas relacionadas a la profundidad efectiva, por lo que son suelos aptos para cultivos perennes. El uso actual es frutícola, hortícola, forestal y como campo natural de pastoreo (Escobar et al., 1996).

El material genético con el que se estableció el ensayo proviene del programa de mejoramiento genético (clones) de la empresa POMERA Maderas. El desempeño de dos clones de eucalipto, el *Eucalyptus grandis* DDT002136 (2136) y un híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* DDT000X78 (X78) están siendo comparados en un módulo experimental con cinco tratamientos de densidad de plantación: 3333 ha<sup>-1</sup> árboles (2 m × 1,5 m de distancia de plantación) hasta 909 ha<sup>-1</sup> árboles (2 m × 5,5 m), en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones para el clon 2136 y 2 repeticiones para el clon X78. Las parcelas se conformaron con 49 árboles (7 filas de 7 árboles), de las cuales se midieron los 25 árboles centrales (5 filas de 5 árboles), a fin de evitar el efecto borde.

En este trabajo se presentan los resultados del tratamiento de mayor densidad de plantación (3333 ha<sup>-1</sup>

árboles), el cual representa un esquema de manejo compatible para la producción de biomasa. Se registró la sobrevivencia y se estimó la producción de volumen con y sin corteza, la densidad básica de la madera y la biomasa de hojas, de ramas, de fuste y total a los 12 meses y a los 24 meses de edad.

El diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura (H) de todos los individuos fueron evaluados a los 12 meses y a los 24 meses de edad. Seis individuos del clon 2136 y cuatro del X78 fueron derribados a los 12 meses y 6 individuos de cada clon a los 24 meses. Los árboles derribados fueron seleccionados al azar. Inmediatamente después del volteo de los individuos seleccionados, se procedió a la medición de la altura del árbol y la cubicación del fuste con y sin corteza hasta 3 cm en punta fina según la fórmula de Smalian (Cailliez, 1980). La longitud de troza fue igual o menor a un metro.

$$V = ((D1^2 + D2^2)/2) * 0,785 * L$$

donde:

V = volumen de la troza

D1 = diámetro en punta fina

D2 = diámetro en punta gruesa

L = largo de la troza

Con los valores de volumen con y sin corteza, DAP y H de los individuos derribados, se ajustó el modelo de Schumacher y Hall (1933) para estimar el volumen individual de todos los árboles.

$$V = a * DAP^b * H^c + \epsilon$$

donde:

V = volumen (m<sup>3</sup>)

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

H = altura (m)

a, b y c = parámetros del modelo

$\epsilon$  = error aleatorio

Los volúmenes con y sin corteza estimados en las tres parcelas de 2136 y dos parcelas de X78 fueron extrapolados a valores por hectárea a partir de la sumatoria de los volúmenes de los individuos multiplicados por un factor de conversión de 44,44 para el 2136 y 66,67 para el X78 dado el siguiente paso de razonamiento lógico: 3 m<sup>2</sup> por árbol (área de ocupación de un árbol) \* 25 árboles por parcela, 3 parcelas (2136) y 2 parcelas (X78); esto resulta en 225 m<sup>2</sup> para 2136 y 150 m<sup>2</sup> para X78. O sea 10000 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> / 225 m<sup>2</sup> (para 2136) = 44,44 y 10000 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> / 150 m<sup>2</sup> (para X78) = 66,67.

Rodajas del fuste de 5 cm de espesor al DAP fueron obtenidas para determinar la densidad básica de la madera, estimada como la relación entre el peso seco en estufa (anhidro) y el volumen verde según la norma TAPPI T 258-om-94 (TAPPI, 1994). Para ello, a cada muestra de madera, una vez saturada con agua, se le determinó el volumen mediante picnómetro. Posteriormente, cada muestra se secó en estufa a 103 °C ± 2 °C hasta peso constante para determinar peso anhidro.

Cada árbol derribado fue separado en compartimentos de hojas, ramas y fuste para la determinación de la biomasa. En campo se registró el peso húmedo de hojas y ramas utilizando balanza de 0,001 g de resolución. En cada compartimento se tomó una muestra de 20% para la determinación del peso a 63 °C en laboratorio. La determinación del peso seco en los compartimentos hojas y ramas se realizó de acuerdo con el protocolo propuesto por Snowdon et al. (2002) con algunas modificaciones, a una temperatura de 63 °C ± 2 °C hasta alcanzar el peso constante. Se utilizó esa temperatura para las determinaciones ya que posteriormente se realizó el análisis del contenido de nutrientes del material vegetal; si se hubieran alcanzado 100 °C podría haberse quemado el material vegetal y perdido algunos nutrientes como el nitrógeno (Resquín et al., 2020). El secado a temperaturas mayores a 80 °C puede causar pérdida de peso seco debido a la descomposición de algunos compuestos orgánicos y volatilización de aceites (Reuter et al., 1997). Una vez obtenido el peso a 63 °C se determinó la razón:

$$R_i = (PS_i/PH_i)$$

donde:

R<sub>i</sub> = razón del compartimento i

PS<sub>i</sub> = peso a 63 °C del compartimento i

PH<sub>i</sub> = peso húmedo del compartimento i

El peso a 63 °C de cada compartimento fue obtenido multiplicando la razón por el peso húmedo del mismo. Para estimar el peso seco del fuste se multiplicó el volumen con corteza por la densidad básica de la madera. El peso seco total individual se obtuvo sumando el peso seco de todos los compartimentos. Con los valores de los pesos secos de hojas, ramas, fuste, total y las variables DAP y H, fueron ajustados modelos de regresión para estimar el peso seco individual por compartimento de todos los árboles según el siguiente modelo:

$$\ln B = a + b \times \ln H + c \times \ln DAP + \varepsilon$$

donde:

B = peso seco del compartimento (kg)

H = altura (m)

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

a, b y c = parámetros del modelo

ε = error aleatorio

Los pesos secos de los compartimentos expresados en megagramos por hectárea fueron calculados como la sumatoria de los pesos secos de los compartimentos de los individuos multiplicados por sus respectivos factores de conversión (0,044 para el 2136 y 0,067 para el X78).

Se realizó un análisis de varianza con valores críticos a 5% para determinar la existencia de diferencias significativas entre clones para las variables analizadas. Se utilizaron los procedimientos Univariate y GLM del programa estadístico R Core Team, 4.0.3. (R Core Team 2019).

Un análisis de componentes principales (ACP) permitió establecer las relaciones entre productividad de biomasa del fuste, variables climáticas, ambientales y



densidad de plantación. La productividad de biomasa de los clones 2136 y X78 fue comparada con datos de productividad de biomasa en Argentina recopilados y ya publicados (Fernández y Lupi, 2016). Los resultados fueron interpretados mediante las herramientas gráficas del ACP, estas permiten visualizar las correlaciones entre variables y la distribución de los individuos, ambos en los ejes principales del plano factorial. Los resultados de productividad de biomasa del fuste de los clones aquí estudiados fueron considerados variables cuantitativas suplementarias. Se eliminaron las variables altamente correlacionadas entre sí, por ejemplo, la precipitación y el balance hídrico (coeficiente de correlación 0,84,  $p < 0,05$ ). La representación de los elementos fila (índices relevados de productividad de biomasa de fuste) fueron agrupados según la especie. Las variables consideradas finalmente en el análisis de ACP fueron las siguientes (Tabla 1): productividad anual (prod), densidad de plantación (den), temperatura media anual (temp), índice de Martonne (precipitación media anual/temperatura media anual, indM), balance hídrico (precipitación – evapotranspiración potencial, bah), limitaciones de sitio (sitio).

## RESULTADOS

La sobrevivencia a los 12 meses fue de 93% ( $\pm 8\%$ ) para el clon 2136 y 78% ( $\pm 8\%$ ) para el clon X78. A los 24 meses, solo el clon 2136 registro nueva mortalidad, disminuyendo a 85% ( $\pm 22\%$ ) la sobrevivencia.

Tanto a los 12 meses como a los 24 meses, no se observaron diferencias significativas para el DAP (Fig. 1a), siendo los valores medios y la desviación estándar a los 12 meses de 4,4 cm ( $\pm 0,9$  cm) y 4,6 cm ( $\pm 0,5$  cm), mientras que a los 24 meses fueron de 7,6 cm ( $\pm 1,7$  cm) y 8 cm ( $\pm 1,1$  cm) para el clon 2136 y X78, respectivamente. La altura (Fig. 1b) resultó significativamente superior en 24,9% y 17,4% en el clon X78, a los 12 y 24 meses respecto del clon 2136.

A los 12 meses la producción en volumen del clon 2136 fue de 16,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 2,8$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y 13,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 2,4$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) con y sin corteza respectivamente, mientras que

el clon X78 produjo 16,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 0,8$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y 14,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 0,8$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de volumen con y sin corteza, respectivamente. Estas diferencias no fueron significativas. En términos de valores por hectárea, esto implica una producción, a los 24 meses, de 82,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 13,2$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y 70,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 11,9$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de volumen para el clon 2136 y de 85,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 5$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y 73,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $\pm 4,7$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) para el clon X78, con y sin corteza, respectivamente.

La densidad básica fue significativamente diferente a los 12 meses: 347,8 kg m<sup>-3</sup> ( $\pm 19,7$  kg m<sup>-3</sup>) vs. 398,9 kg m<sup>-3</sup> ( $\pm 10,5$  kg m<sup>-3</sup>) para el clon 2136 y X78, respectivamente. Sin embargo, si bien el clon X78 mantuvo su superioridad en densidad a los 24 meses, estas diferencias dejaron de ser significativas: 399,4 kg m<sup>-3</sup> ( $\pm 19,2$  kg m<sup>-3</sup>) y 428,2 kg m<sup>-3</sup> ( $\pm 26,9$  kg m<sup>-3</sup>) para el clon 2136 y X78, respectivamente (Fig. 1d).

En la tabla 2 se presentan los parámetros de los modelos de regresión ajustados para estimar el volumen con y sin corteza, biomasa de hojas, ramas, fuste y total de los clones 2136 y X78.

La producción de biomasa a los 12 meses registró diferencias significativas en los compartimentos estudiados (Tabla 3). A los 24 meses solamente la biomasa de fuste y total fue significativamente diferente, siendo de 32,245 Mg ha<sup>-1</sup> ( $\pm 4,239$  Mg ha<sup>-1</sup>) y 41,927 Mg ha<sup>-1</sup> ( $\pm 6,362$  Mg ha<sup>-1</sup>) para el clon 2136 y de 38,543 Mg ha<sup>-1</sup> ( $\pm 3,337$  Mg ha<sup>-1</sup>) y 45,347 Mg ha<sup>-1</sup> ( $\pm 0,898$  Mg ha<sup>-1</sup>) para el X78, respectivamente. La producción de biomasa total de los clones aumentó 280% en un año y se observó un cambio en la proporción de la biomasa de los compartimentos del árbol en relación con la edad. La biomasa de fuste tuvo un aumento en la proporción de la biomasa total. Este representaba, a los 12 meses de edad, 49,1% y 44,7% de la biomasa total en los clones 2136 y X78 respectivamente. Mientras que, a los 24 meses representó 76,9% y 85% de la misma. La proporción de biomasa de hojas disminuyó 14,6% y 18,9% en el clon 2136 y el X78, respectivamente, en tanto que el porcentaje de biomasa de ramas disminuyó aproximadamente 15% para ambos clones en el mismo período.

TABLA 1. Variable, tipo y variación de las variables consideradas en el estudio de ACP.

Variable	Tipo	Media	Intervalo mínimo-máximo
Productividad anual (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Cuantitativa	22,6	3,5 - 46,3
Densidad de plantación (ha <sup>-1</sup> )	Cuantitativa	2500	1111 - 2777
Temperatura (°C)	Cuantitativa	16,3	13,7 - 22,5
Índice de Martonne	Cuantitativa	42,8	23,8 - 56
Balance hídrico (mm)	Cuantitativa	250	50 - 1100
*Limitaciones de sitio	Ordinal cualitativa	4	I - II

\* Limitaciones de sitio: I sin limitaciones edáficas, suelos profundos con buena capacidad de retención hídrica; II suelos con severas limitaciones de profundidad y de capacidad de almacenamiento de agua.

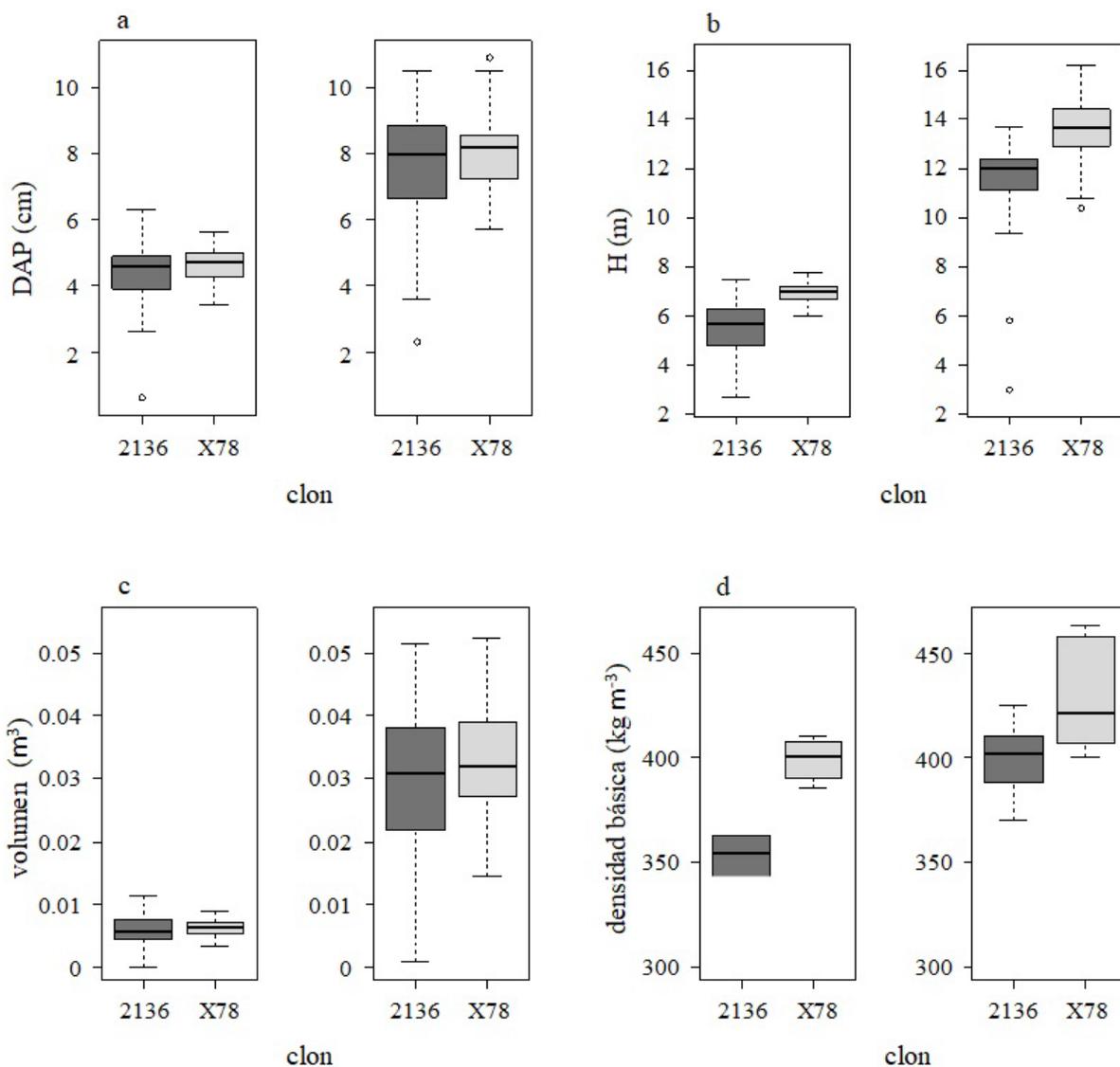


FIGURA 1. a) Diámetro a la altura del pecho (DAP), b) altura total (H), c) volumen con corteza por árbol y d) densidad básica de la madera para los clones de *Eucalyptus* sp. a los 12 meses y a los 24 meses de edad.



TABLA 2. Parámetros y estadísticos de los modelos de regresión ajustados para las estimaciones de volumen y biomasa por clon.

Clon	Variables	Coeficientes					
		a	b	c	R <sup>2</sup>	n	e
2136	Volumen de fuste c/corteza	0,000075	1,263	1,360	99,5	12	0,0009
	Volumen de fuste s/corteza	0,000056	1,121	1,530	99,7	12	0,0006
	Biomasa de hojas	-1,753	-0,240	1,454	82,7	12	0,2562
	Biomasa de ramas	-1,510	-1,004	2,103	52,7	12	0,4146
	Biomasa de fuste	-4,177	1,325	1,614	99,2	12	0,4974
	Biomasa total	-2,305	0,771	1,502	98,3	12	0,8523
X78	Volumen de fuste c/corteza	0,000057	1,384	1,317	99,5	10	0,0009
	Volumen de fuste s/corteza	0,000058	1,303	1,323	99,2	10	0,0010
	Biomasa de hojas	-0,367	-2,843	3,946	68,5	10	0,4013
	Biomasa de ramas	-0,857	-3,016	4,314	84,3	10	0,2286
	Biomasa de fuste	-4,538	1,861	1,127	97,8	10	0,8770
	Biomasa total	-2,335	0,588	1,746	96,4	10	1,2466

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; n: número de efectivos; e: error estándar de la estimación. Los coeficientes a, b y c representan los parámetros de los modelos de regresión.

TABLA 3. Producción promedio de biomasa por árbol y desviación estándar (kilogramos de materia seca) de los clones 2136 y X78 a los 12 meses y 24 meses de edad.

Edad (meses)	Clon:	2136		X78		p-value	
		Compartimento de biomasa	Media	De	Media		De
12	Biomasa de hojas		0,999	0,273	1,269	0,430	0,0001
	Biomasa de ramas		0,910	0,269	0,991	0,366	0,1935
	Biomasa de fuste		1,794	0,931	2,238	0,506	0,0069
	Biomasa total		3,652	1,543	4,461	0,999	0,0040
24	Biomasa de hojas		1,661	0,555	1,881	0,748	0,0912
	Biomasa de ramas		1,405	0,497	1,421	0,703	0,8882
	Biomasa de fuste		11,409	4,864	14,826	4,467	0,0006
	Biomasa total		14,742	5,521	17,443	4,951	0,0139

De: desviación estándar. \* Los valores de biomasa calculados a partir del peso seco con una temperatura de 63 °C tienen un cierto grado de imprecisión pues, al no alcanzar el punto de ebullición del agua, queda un pequeño remanente de agua contenida en hojas y ramas.

Los dos principales ejes factoriales del ACP permitieron explicar más de 77% de la variabilidad. En el gráfico concéntrico de relación entre variables (Fig. 2a), la variabilidad sobre el eje 1 del ACP puede ser explicada por la asociación positiva entre la productividad anual y la densidad de plantación, la cual se asocia a su vez negativamente con las limitaciones del sitio de plantación y la temperatura. Sobre el segundo eje del ACP la variabilidad se explica por las asociaciones entre el índice de Martonne y el balance hídrico, los cuales parecen tener una asociación baja con la productividad anual para estos sistemas de alta densidad de plantación.

En la figura 2b se puede apreciar claramente el agrupamiento según las especies que conforman la base de datos. Los dos puntos verdes (identificados como “e.spp”) corresponden a los datos de productividad del clon 2136 y X78. *A priori*, lo que pudo establecerse es que el sistema productivo analizado en el presente trabajo no se diferencia del complejo de *Eucalyptus grandis* (“e.gran” = puntos rojos). Hacia el extremo superior de la derecha, el *Eucalyptus grandis* comparte su agrupamiento con *Pinus taeda* (“p.taed” = puntos rosas) creciendo en suelos rojos de Misiones y Corrientes, sin limitaciones edáficas. La base de datos analizada también permite discernir los sistemas de muy alta densidad de plantación y alta productividad que constituyen los estaqueros de *Salix* sp. y *Populus* sp. del Delta del Paraná. Dichos resultados provienen de evaluaciones de crecimiento en situaciones de mayor densidad de plantación (27777 ha<sup>-1</sup> árboles), lo que implica un manejo para producción dendroenergética de alta densidad de plantación, cortos turnos de rotación y alta productividad de biomasa.

## DISCUSIÓN

A los 12 meses de edad la sobrevivencia del clon 2136 fue 15% mayor respecto del clon X78. Esto podría deberse a que en este último clon se observó, en los árboles muertos, un crecimiento desbalanceado entre los componentes de raíces y copa. A los 24 meses se registró una disminución en el porcentaje de sobrevivencia únicamente en el clon 2136, consecuencia de fuertes vientos, provocando la caída

de árboles en una parcela ubicada en un extremo del ensayo. Esto es lo que finalmente genera el alto valor de desviación estándar (22%) para esta variable. Si bien una textura arenosa de suelo favorece el anclaje, debido a la gran cantidad de poros grandes que facilita la penetración y desarrollo del sistema radical, la alta productividad, en un esquema de alta densidad de plantación, principalmente de los componentes de copa, provoca un desbalance, haciendo que sean más susceptibles a la caída por fuertes vientos en los periodos iniciales del desarrollo. A pesar de ello, ambos clones tuvieron un buen establecimiento, registrando valores similares de sobrevivencia a los publicados (Aparicio 2012; Aparicio et al., 2018; Aparicio y Maggio 2018) para clones y material seminal de *Eucalyptus grandis* en suelos arenosos de Corrientes.

Los valores de crecimiento en DAP son semejantes a los registrados por otros autores a edades entre 24 meses y 30 meses en la provincia de Corrientes (Aparicio et al., 2005; Aparicio et al., 2007; Aparicio, 2012; Aparicio et al., 2018), aunque estos estudios difieren en el material genético analizado y la densidad de plantación (714 ha<sup>-1</sup> - 1000 ha<sup>-1</sup> árboles). En la variable altura se observó que los clones estudiados presentaron un crecimiento superior (10% - 30%) que el material genético analizado por dichos autores. Esto señala que los clones 2136 y X78 presentan un mayor potencial de crecimiento, logrando crecimientos superiores en condiciones de mayor competencia por recursos.

La producción de volumen por hectárea es muy superior (50% - 80%) a la encontrada en la literatura para el centro y sudeste de Corrientes (Aparicio et al., 2018; Caniza et al., 2018), probablemente, debido a la densidad de plantación. Para una forestación dendroenergética de 3330 ha<sup>-1</sup> árboles con *Eucalyptus grandis*, Resquin et al. (2015) publicaron valores inferiores de producción en volumen (60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) en dos calidades de sitio en Uruguay a los 24 meses de edad. Por otro lado, el volumen de la corteza representa aproximadamente 14% del volumen total en ambos clones, siendo semejantes a los valores encontrados por Lopez (2017) para clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis*.



En lo que concierne a la densidad de la madera, valores semejantes de densidad básica fueron observados por Lopez y Lopez (2011) para *Eucalyptus grandis* creciendo en diferentes calidades de sitios y bajo marcos de plantación menos intensivos en el sudoeste de Corrientes. Oliveira-Carneiro et al. (2014) y Lopez (2016) también registraron valores similares para varios clones híbridos de eucalipto en Brasil y Argentina respectivamente. Resquin et al. (2019) observaron valores equivalentes de densidad de la madera para plantaciones dendroenergéticas (3330 ha<sup>-1</sup> árboles) con *Eucalyptus grandis* en Uruguay a los 22 meses de edad. El clon X78 evidenció mayor densidad respecto del 2136, característica posiblemente aportada por el material parental de *Eucalyptus camaldulensis* en el cruzamiento entre especies para la generación del híbrido (Marcó y Harrand, 2005).

Ferrere et al. (2008) y Acuña et al. (2018) observaron tendencias similares en el cambio de la proporción de la biomasa de los compartimentos del árbol en relación con la

edad, en distintas especies de *Eucalyptus* sp., donde la proporción de la biomasa de fuste aumentó con la edad mientras que la biomasa de hojas y ramas disminuyó. La determinación de la biomasa acumulada es la información base para estimar el stock de nutrientes acumulados en el rodal, la cual permite inferir el potencial productivo del sitio (Martíarena et al., 2011). Goya et al. (1997) encontraron que las plantaciones de eucaliptos bajo silvicultura intensiva presentan elevadas demandas de nutrientes de la biomasa aérea y que la extracción de nutrientes con la cosecha decrece con la edad de la plantación. Conocer la biomasa acumulada y la evolución de los compartimentos con la edad cobra relevancia para la determinación del turno óptimo de cosecha de estos sistemas productivos energéticos. Esto permite maximizar la producción de biomasa de fuste en el corto plazo, optimizando los sistemas de aprovechamiento forestal y manejo de residuos en beneficio de mantener la productividad del sitio (Fernandez y Lupi, 2016).

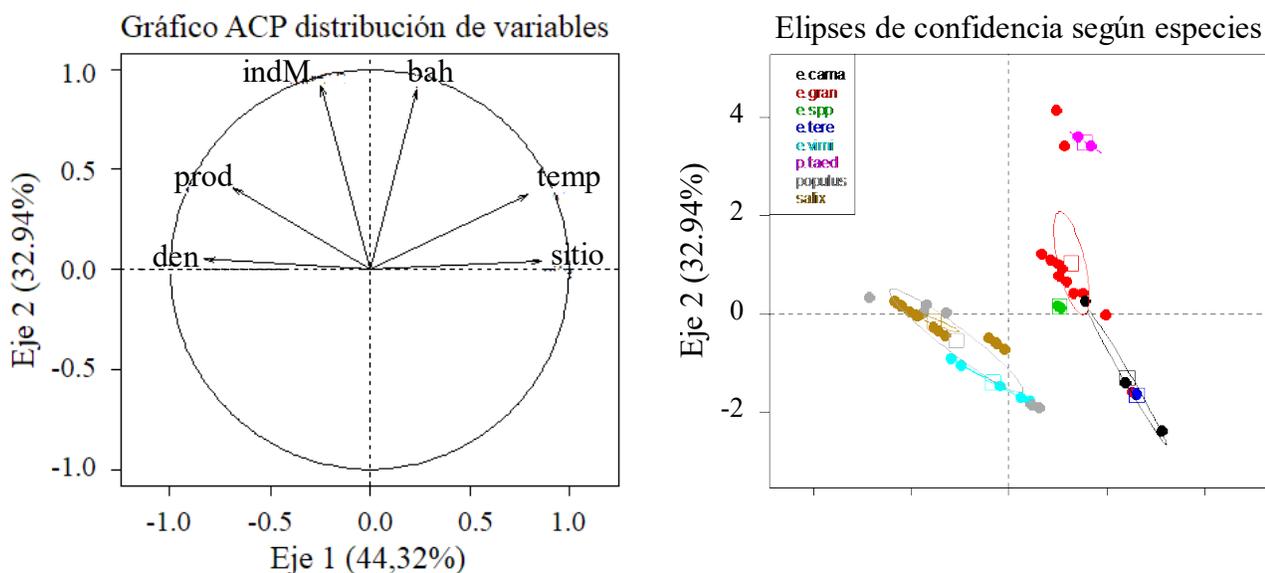


FIGURA 2. a) Correlaciones de los componentes principales de las variables de productividad, climáticas y ambientales en los clones de *Eucalyptus* sp. b) Gráfico de agrupamiento individual y elipses de confianza a nivel especies.

La productividad anual de estos sistemas de producción está determinada principalmente por la densidad de plantación y las condiciones edáficas del sitio. Martiarena (2016) afirma que las principales causas que afectan la producción de biomasa del rodal son el manejo de la densidad, la calidad del sitio y el manejo silvícola. Fernandez y Lupi (2016) estimaron productividades anuales entre 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> y 41,8 Mg ha<sup>-1</sup> en *Eucalyptus* sp. para el desarrollo de plantaciones dendroenergéticas (1111 ha<sup>-1</sup> - 3000 ha<sup>-1</sup> árboles) en regiones de Argentina con balance hídrico positivo, con distintos turnos de cosecha (4 años - 16 años). Para el *Eucalyptus grandis* estimaron productividades entre 11,1 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 41,8 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con turnos entre 4 años y 7 años. Los clones 2136 y X78 lograron productividades de 16,1 Mg ha<sup>-1</sup> y 19,3 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a los dos años en ambientes frágiles, demostrando un buen potencial de crecimiento en etapas tempranas del desarrollo, siendo altamente probable que estas productividades anuales aumenten debido a que se encuentran en la etapa exponencial del crecimiento y que aún no han llegado a la mitad del turno de cosecha estimado para esta región (4 años a 7 años). Otros autores (Guerra et al., 2014; Junior et al., 2016; Magalhães et al., 2016; Acuña et al., 2018; Bentancor et al., 2019; Resquin et al., 2020) han registrado valores de productividad entre 0,8 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 30 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el género *Eucalyptus* sp. en Oceanía, Europa, Norteamérica, Chile, Brasil y Uruguay, en densidades mayores de plantación, entre 1111 ha<sup>-1</sup> y 10000 ha<sup>-1</sup> árboles. A su vez, calcularon valores de productividad entre 3 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> - 10,6 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los géneros *Populus* sp., *Salix* sp., *Robinia* sp. y *Paulownia* sp., en densidades de plantación que van desde los 1111 ha<sup>-1</sup> a 12000 ha<sup>-1</sup> árboles en Europa. Los clones evaluados en este trabajo lograron altas productividades en densidades de plantación de 3333 ha<sup>-1</sup> árboles, con alta tasa de sobrevivencia, al menos para la etapa inicial de crecimiento. Evidencian a su vez que aun existe un gran margen de productividad anual a ser explorada por densidades de plantación mayores que necesitan ser estudiadas en Argentina.

*Eucalyptus*, en función a sus altos índices de productividad, densidad de la madera y de su gran adaptación a distintas condiciones ambientales, es uno de los géneros forestales más utilizados para la implantación de forestaciones energéticas (Vieira Rocha, 2011; Ferreira et al., 2017). Los eucaliptos híbridos son una solución para la forestación de áreas consideradas marginales para *Eucalyptus grandis* (Lopez, 2017). Los cruzamientos entre especies permiten combinar las características favorables de los parentales. *Eucalyptus camaldulensis* aporta rusticidad, alta densidad de madera y tolerancia a las heladas, mientras que *Eucalyptus grandis* aporta productividad y buena forma de fuste. De acuerdo con los resultados de este trabajo, en suelos poco fértiles como los de esta región, los clones estudiados tuvieron buena productividad en altas densidades de plantación. Así mismo, el análisis de agrupamiento por especie los ubica lo más próximo al complejo de *Eucalyptus grandis* en Argentina, distantes de la productividad establecida en ambientes sin limitaciones de sitio, en mayores densidades de plantación y manejo intensivo como lo son los valores registrados en salicáceas.

El impulso a la generación de energías renovables, en particular a partir de la biomasa forestal, es una oportunidad para la provincia de Corrientes, la cual cuenta con el recurso y las condiciones climáticas favorables. Sin embargo, existen diversas interrogantes sobre estos sistemas intensivos de producción respecto del turno de cosecha, método de cosecha, tratamientos silviculturales óptimos bajo condiciones edafoclimáticas específicas, consumo de agua y nutrientes, costos ambientales ocultos, entre otros (Fernandez y Lupi, 2017). Los resultados preliminares aquí presentados deberán ser acompañados de estudios que permitan contextualizar la temporalidad de estos sistemas dendroenergéticos, particularmente con *Eucalyptus* en estos ambientes frágiles de la provincia de Corrientes con el objetivo de disparar la discusión sobre su conveniencia o no, dadas las implicancias desde el punto de vista ambiental y social.



## CONCLUSIONES

Los clones estudiados evidenciaron diferencias significativas para el crecimiento en altura, no así en DAP y volumen. La densidad de la madera resultó significativamente superior en el clon X78, el clon híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*. A su vez, este clon presentó una superioridad en biomasa total a los 24 meses, principalmente producto de la biomasa de fuste, compartimento que evidenció los mayores incrementos a lo largo del período estudiado. Esto demuestra que, bajo los supuestos de una silvicultura clonal intensiva, la elección correcta del material genético podría traducirse en incrementos significativos para la producción de biomasa forestal con fines dendroenergéticos.

Los esquemas de manejo de alta densidad de *Salix* sp. y *Populus* sp. en el Delta del Paraná, se muestran competitivos en términos de productividad. Sin embargo, dado que las usinas de producción de energía se encuentran en la provincia de Corrientes, el complejo *Eucalyptus* parece por ahora ser la mejor elección para estos suelos de baja productividad de lomas y planicies arenosas. El alto grado de mejora genética logra altas tasas de productividad. Se recomienda ensayar nuevas densidades de plantación, aún mayores, puesto que al menos hasta los 24 meses no se ha registrado mortalidad por cuestiones de ocupación de sitio.

## REFERENCIAS

- Acuña, E., Cancino, J., Rubilar, R., & Sandoval, S. (2018). Aboveground biomass growth and yield of firs rotation cutting cycle of Acacia and Eucalyptus short rotation dendroenergy crops. *Revista Árvore*, 41(6), e410608. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000600008>
- Aparicio, J. L., Larocca, F., & Dalla Tea, F. (2005). Silvicultura de establecimiento de *Eucalyptus grandis*. *Idia XXI: Revista de Información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario*, 5(8), 66-69.
- Aparicio, J. L., Dalla Tea, F., & Spriegel, M. (2007). Respuesta de *Eucalyptus grandis* a diferentes técnicas de preparación del terreno en un suelo malezal del sudeste de Corrientes. *XXII Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Aparicio, J. L. (2011). Efecto del manejo de residuos de cosecha de *Pinus elliottii* en el costo oculto de nutrientes y en el crecimiento de pino híbrido en un suelo arenoso de Corrientes. *XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos*.
- Aparicio, J. L. (2012). Comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* en relación a un material de semilla en un suelo arenoso de Corrientes. *XXVI Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Aparicio, J. L., Maggio, A., & Fragueiro, L. (2018). Control de malezas de *Eucalyptus grandis*: Respuestas a diferentes anchos de control. *XXXII Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Aparicio, J. L., & Maggio, A. (2018). Respuesta a la fertilización con NPK en 5 clones de *Eucalyptus grandis* en planicies arenosas de Corrientes. *XXXII Jornadas forestales de Entre Ríos*, 93-121.
- Baettig, R., Yáñez, M., & Albornoz, M. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte. *BOSQUE*, 31(2), 89-99. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000200002>
- Bentancor, J., Hernández, J., del Pino, A., Califra, A., Resquín, F., & González-Barrios, P. (2019). Evaluation of the biomass production energy yield and nutrient removal of *Eucalyptus dunni* Maiden grown in short rotation coppice under two initial planting densities and harvest system. *Biomass and Bioenergy*, 122, 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.019>
- Cailliez, F. (1980). *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 1 - estimación del volumen*. Estudio FAO 22/1.
- Caniza, F., J., García, M., Aparicio, J., L., De la Peña, C., Mastrandrea, C., Flores Palenzona, M., Barrios, M., F., & Martínez, M. (2018). Avances del INTA en la silvicultura clonal de *Eucalyptus grandis* en la Mesopotamia argentina. *XXXII Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Carnevali, R. (1994). *Fitogeografía de la Provincia de Corrientes: Cartas, escalas 1:500.000 y 1:1.000.000*. Gobierno de la Provincia de Corrientes - INTA.
- Dirección de Recursos Forestales, Corrientes. (2018). *Actualización del inventario forestal de bosques cultivados*. <https://apefic.org.ar/wp-content/uploads/2019/12/Inventario-Forestal-2018.pdf>
- Escobar, E., H., Ligier, H., D., Melgar, R., Matteio, H., & Vallejos, O. (1996). *Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500000*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. EEA
- Fernandez, R., & Lupi, A., M. (2016). *Potencial de desarrollo de plantaciones dendroenergéticas en Argentina*. Ediciones INTA.
- Fernandez, R., & Lupi, A., M. (2017). Plantaciones con fines energéticos: Consideraciones tecnológicas y ambientales frente a su implementación. *XXXI Jornadas forestales de Entre Ríos*.

- Ferreira, M., C., Santos, R., C., D., Castro, R., V., O., Carneiro, A., D., C., O., Silva, G., G., C., D., Castro, A., F., N., M., Costas, F., L., & Pimenta, A. S. (2017). Biomass and energy production at short rotation *Eucalyptus* clonal plantations deployed in Rio Grande do Norte. *Revista Árvore*, 41(5), e410504. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000500004>
- Ferrere, P., Lupi, A., M., Boca, R., Nakama, V., & Alfieri, A. (2008). Biomasa en plantaciones de *Eucalyptus viminalis* Labill en la provincia de Buenos Aires. *Ciência Florestal*, 18(3), 291-305. <https://doi.org/10.5902/19805098440>
- Guerra, S., P., Garcia, E., A., Lancas, K., P., Rezende, M., A., & Spinelli, R. (2014). Heating value of eucalypt wood grown on SRC for energy production. *Fuel*, 137, 360-368. <http://hdl.handle.net/11449/116562>
- Goya, J., Frangi, J., Dalla Tea, F., Marco, M., & Larocca, F. (1997). Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. *XII Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Junior, H., J., E., de Melo, R., X., Sartori, M., M., P., Guerra, S., P., S., & Ballarín, A., W. (2016). Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 90, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.037>
- Lopez, A., J., & Lopez, J., A. (2011). *Eucalyptus grandis* en el sudeste de Corrientes: Variación de densidad de la madera. *XXV Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Lopez, A., J. (2016). Producción de leña renovable de *Eucalyptus* spp. para pequeños productores rurales. Reunión N° 62 Consorcio Forestal Corrientes Centro, N° 238 Consorcio Forestal Corrientes Norte y N° 71 Consorcio Forestal Río Uruguay. EEA INTA Bella Vista, 24 de noviembre de 2016. 17-18.
- Lopez, J., A. (2017). Variación genética de propiedades físicas y organolépticas de importancia para usos sólidos de alto valor de clones híbridos de *Eucalyptus* en Entre Ríos. *XXI Jornadas forestales de Entre Ríos*.
- Magalhães, M., A., de Cássia Oliveira Carneiro, A., Rocha Vital, B., Simões da Silva, C., M., Moura de Souza, M., & de Freitas Fialho, L. (2016). Estimates of mass and energy of different genetic material eucalyptus. *Revista Árvore*, 41(3), e410302. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000300002>
- Manolis, E., N., Zagas, T., D., Karetso, G., K., & Porovou, C., A. (2019). Ecological restrictions in forest biomass extraction for a sustainable renewable energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.078>
- Marcó, M., A., & Harrand, L. (2005). Valor potencial de los eucaliptos colorados en combinaciones híbridas. *I Jornada sobre potencialidad foresto-industrial del eucalipto en Santiago del Estero*. Actas en CD.
- Martiarena, R., Frangi, J., Pinazo, M., Von Wallis, A., & Fernández, R. (2011). Effect of thinning and harvest type on storage and losses of Phosphorous in *Pinus taeda* L. plantations in Subtropical Argentina. *International Journal of Forestry Research*, 2011, 761532. <https://doi.org/10.1155/2011/761532>
- Martiarena, R. (2016). *Efecto de la disponibilidad de recursos sobre la eficiencia de uso y conservación de los nutrientes en función de las condiciones edafoclimáticas, edad y manejo de las plantaciones de Pinus taeda L. en la Mesopotamia Argentina* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata].
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGyP] - Dirección de Producción Forestal [DPF] (2015). *Plantaciones forestales y gestión sostenible*.
- Oliveira-Carneiro, A., Mendes-Castro, A., N., Oliveira-Castro, R., Cavalcante dos Santos, R., Papaspyrou-Ferreira, L., Pereira-Damáso, R., & Rocha-Vital, B. (2014). Potencial energético de la madera de *Eucalyptus* sp. en función de la edad y de diferentes materiales genéticos. *Revista Árvore*, 38(2), 375-381.
- Patiño-Díez, J., F., & Smith-Quintero, R. (2008). Consideraciones sobre la dendroenergía bajo un enfoque sistémico. *Energética*, 39, 19-34.
- R Core Team, (2019). *R: a language and environment for statistical computing*. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <http://www.rproject.org/>
- Resquín, F., Rachid, C., Hirigoyen, A., Doldán, J., Lopretti, M., Bonifacino, S., Buxedas, L., Vázquez, S., Sapolski, A., Gonzalez, M., Carrasco-Letelier, L., & Capdevielle, F. (2015). Producción de biomasa y etanol a partir de *Eucalyptus* en plantaciones de alta densidad. *Revista INIA*, 41, 35-38. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4803/1/2015-n.41-p.35-38-RESQUIN-revista-INIA-41.pdf>
- Resquín, F., Navarro-Cerrillo, R., Carrasco-Letelier, L., & Raschid, C. (2019). Influence of contrasting stocking densities on the dynamics of above-ground biomass and wood density of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunni* and *Eucalyptus grandis* for bioenergy in Uruguay. *Forest Ecology and Management*, 438, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.007>
- Resquín, F., Navarro-Cerrillo, R., Carrasco-Letelier, L., Raschid Casnati, C., & Betancor, L. (2020). Evaluation of the nutrient content in biomass of *Eucalyptus* species from short rotation plantations in Uruguay. *Biomass and Bioenergy*, 134, 105502. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105502>



- Reuter, D. J., Robinson, J. B., Peverill, K. I., Price, G. H. & Lambert, M. J. (1997). Guidelines for collecting, handling and analysing plant materials. En D. J. Reuter, & J. B. Robinson (Eds.), *Plant analysis: An interpretation manual*, CSIRO Publishing.
- Schumacher, F., X., & Hall, F., S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, 47(9), 719-734.
- Secretaría de Energía (2019). *Balances energéticos nacionales*. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Bi, H., Burrows, W., & Eamus, D. (2002). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. Technical report N° 31. National Carbon Accounting System. Australian Greenhouse Office. Commonwealth of Australia.
- Spatari, S., Bagley, D., & Mac Lean, H., L. (2010). Life cycle evaluation of emerging lignocellulosic ethanol conversion technologies. *Bioresource technology*, 101, 654-667. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.067>
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry [TAPPI] (1994). *TAPPI T258om Basic density and moisture content of pulpwood*. TAPPI.
- Trossero, M., Drigo, R., Anschau, A., Carballo, S., & Marco, N. F. (2009). *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina*. Buenos Aires, Argentina. FAO Departamento Forestal Dendroenergía-Wisdom Argentina-INTA. <http://www.fao.org/docrep/011/i0900s/i0900s00>.
- Vieira Rocha, M., F. (2011). *Influencia del espaciamiento y la edad en la productividad y propiedades de la madera del Eucalyptus grandis x Eucalyptus camaldulensis para energía* [Tesis de maestría, Universidad Federal de Vicosa].
- Young, F., & Steffen, P. (2008). Biocombustibles como estrategia de desarrollo: ¿Rumbo hacia la sustentabilidad o hacia una nueva periferia? *Revista POLIS*, 7(21), 167-177. <https://doi.org/10.4067/s0718-65682008000200009>

Manuscrito recibido el 24 de septiembre de 2020

Aceptado el 25 de agosto de 2021

Publicado el 18 de marzo de 2022

Este documento se debe citar como:

Maggio, A. D., Caniza, F. J., Cellini, J. M., & Martínez-Meier, A. (2022). Potencial dendroenergético de dos clones de *Eucalyptus* sp. en Corrientes, Argentina. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812268. <https://doi.org/myb.10.21829.2022.2812268>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.