



## AJUSTE PRELIMINAR DE UN MODELO DE RENDIMIENTO PARA *Eucalyptus globulus* Labill. EN MACIZOS DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Fabio ACHINELLI<sup>1,2</sup>, Juan GOYA<sup>2</sup>, Sebastián GALARCO<sup>2,3</sup>, Luciano LARRIEU<sup>2</sup>, Marcelo ARTURI<sup>2</sup>

### RESUMEN

En esta comunicación se publican resultados preliminares obtenidos en el ajuste de un modelo empírico y de rodal para predecir el rendimiento de macizos de *Eucalyptus globulus* implantados en el sudeste de Buenos Aires. Se trabajó con una matriz compuesta por datos estructurales de  $n=119$  parcelas de muestreo instaladas dentro de un radio de 100 km de distancia del puerto de Quequén. La base de datos abarcó parcelas con un rango de edades de 9 a 21 años y de índices de sitio con valores de entre 15,7 m y 36,4 m; los volúmenes totales con corteza estuvieron comprendidos entre 99,9 y 731,4  $m^3 \cdot ha^{-1}$ . Se desarrolló en forma preliminar un modelo de rendimiento que tuvo un  $R^2=79,7\%$  y una distribución adecuada de los valores de rendimiento observados respecto de los estimados. Este modelo permite predecir en forma aceptable el volumen total con corteza ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) de estos rodales a partir del conocimiento de su edad y su calidad de sitio, y constituye una primera herramienta de manejo y toma de decisiones para los productores vinculados con el cultivo de esta especie.

**Palabras clave:** *volumen total, índice de sitio, edad*

### 1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Buenos Aires ocupa el cuarto lugar en importancia en cuanto a la superficie de bosques implantados, conformada principalmente por plantaciones de Salicáceas (*Salix* spp.; *Populus* spp.) en el Delta del Paraná y en segundo término por macizos y cortinas de *Eucalyptus globulus* Labill. en el sudeste del distrito (Sharry, 2013). Esta última región constituye un caso particular, ya que es allí donde *E. globulus* encuentra su óptimo de adaptación ecológica en Argentina, habiéndose comprobado altos crecimientos volumétricos sobre un área potencial de cultivo de unas 850.000 ha (Ferrere et al., 2005). La cuenca forestal del sudeste tuvo un gran dinamismo durante la década de los noventa, período durante el cual Buenos Aires registró extracciones de madera que en promedio duplicaron a las actuales. Este dinamismo involucró el establecimiento de nuevas plantaciones, las que se orientaron en forma predominante a la producción de madera para triturado en macizos, totalizando unas 5.622 ha hacia el año 2011 (MAA Buenos Aires, 2011). La situación de la región cambió en forma marcada a partir de la crisis económica e institucional del año 2001, produciéndose una drástica merma en la superficie forestada y en las extracciones de madera. Más allá de esta situación coyuntural, la región poseía al año 2011 existencias totales estimadas en más de 1,8 millones de metros cúbicos de madera con corteza, con posibilidad de ser derivadas a las industrias del parquet, aserrado, triturado y generación de bioenergía a partir de biomasa forestal, con crecimientos medios comprobados de 24,7  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  (MAA Buenos Aires, 2011).

En los últimos años se viene observando una lenta recuperación de la actividad, que se refleja principalmente en el aprovechamiento de algunas plantaciones y el inicio del siguiente ciclo mediante manejo del rebrote.

<sup>1</sup> Profesional de Apoyo CIC, Buenos Aires; [fachinel@gmail.com](mailto:fachinel@gmail.com); cel.: 221 5 225 578

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata

<sup>3</sup> Ministerio de Agroindustrias de la Provincia de Buenos Aires



Uno de los problemas encontrados por los productores para tomar decisiones respecto de los rodales actuales o el establecimiento de nuevas plantaciones es la carencia de modelos de predicción del rendimiento, para tomar decisiones fundamentadas respecto del manejo de la densidad, el cambio de germoplasma, la duración del turno y los rendimientos potenciales en lotes no forestados, entre otras. La obtención de estas predicciones mediante modelos, en combinación con la información económica apropiada, permite definir de manera óptima las edades de cosecha, los niveles de población a mantener en cada fase de desarrollo de un rodal y las oportunidades para la aplicación de raleos, entre otras alternativas de manejo (Clutter et al., 1983, Vanclay, 1994).

En febrero del año 2016 se inició un Proyecto de Investigación Aplicada (PIA 14.011) que entre sus objetivos específicos plantea el desarrollo de un modelo empírico de rodal para la predicción de rendimientos en macizos de *E. globulus* en el sudeste bonaerense. En este trabajo se publican los resultados obtenidos hasta la fecha, incluyendo el ajuste preliminar del modelo logarítmico de Schumacher (Clutter et al., 1983).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó sobre una base de datos inicial de  $n=71$  parcelas de muestreo (PM) de edad conocida, generada durante el inventario de macizos del año 2011; estas parcelas fueron georeferenciadas con GPS y en ellas se relevaron en campo parámetros 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) y volumen total con corteza ( $V$ ;  $m^3$ ) de los ejemplares, así como los distanciamientos de plantación (MAA Buenos Aires, 2011). Todas las PM se encontraron ubicadas dentro de un radio de 100 km de distancia en línea recta desde el puerto de Quequén, Provincia de Buenos Aires. Esta base de datos original fue incrementada mediante la medición durante los años 2016 y 2017 de  $n=33$  nuevas PM, y la reubicación en campo y medición de  $n=15$  PM que habían sido relevadas en 2011; para estas últimas mediciones se utilizó el mismo procedimiento que se empleara en el inventario de 2011 (MAA Buenos Aires, 2011). La base de datos completa quedó así conformada por  $n=119$  PM que abarcan un rango de edades de 9 a 21 años. La información sobre la AMD y la edad de las PM fue procesada en esta etapa mediante el método de la "curva guía" (Clutter et al., 1983) para ajustar la Ecuación 1 a los datos y obtener los parámetros de la "curva guía"; la edad índice fue definida en 15 años. Se trazaron curvas anamórficas con una equidistancia a la edad índice de 5 m entre sí, buscando cubrir gráficamente la dispersión de la altura dominante originada por el muestreo de rodales de diferentes calidades de sitio (Glade, 1999). Luego se obtuvo el valor de la constante  $K_0$  y el índice de sitio (IS; m) para cada PM (cada par ordenado de AMD y edad).

$$AMD = K_0 \cdot e^{B \left( \frac{E}{E} \right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

AMD= altura media dominante; m

$K_0$ = constante con distintos valores según el IS

$e$ = constante de Napier

$B$ = constante de la "curva guía"

$E$ = edad en años

Una vez obtenida una matriz con los datos de edad e índice de sitio (IS) para  $n=119$  PM se llevó a cabo un nuevo ajuste de modelos empíricos de rendimiento mediante la biblioteca específica del entorno R (R Core Team, 2015). El ajuste se evaluó para el denominado modelo logarítmico de Schumacher (Ecuación 2) (Clutter et al., 1983):

$$\ln V = b_1 + \frac{b_2}{E} + b_3 IS \quad \text{Ecuación 2}$$



En donde:

$\ln V$  = logaritmo natural del volumen total con corteza por hectárea ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ )

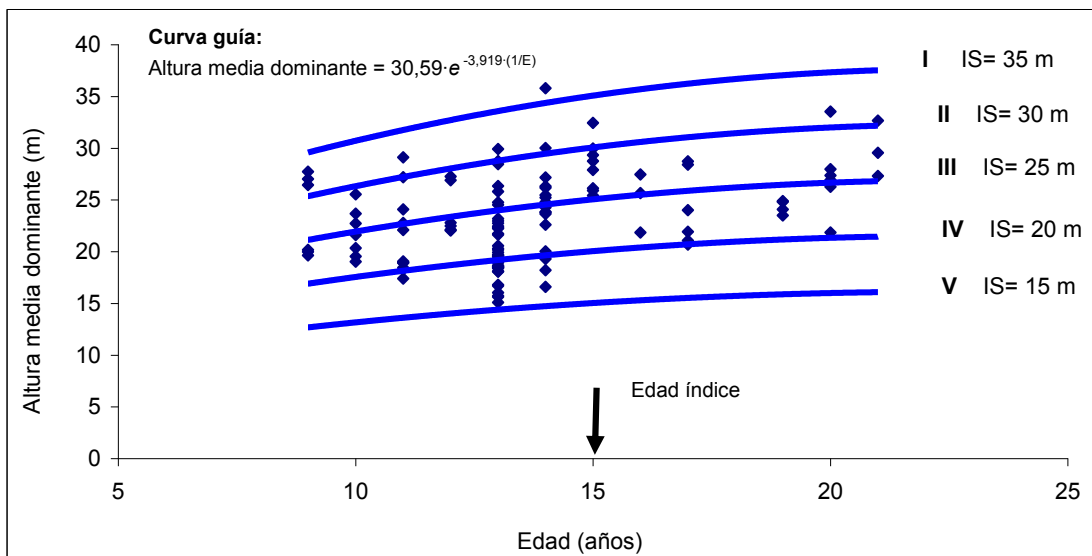
$b_i$  = parámetros de la ecuación

$IS$  = índice de sitio para la edad índice de 15 años (m)

$E$  = edad en años

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

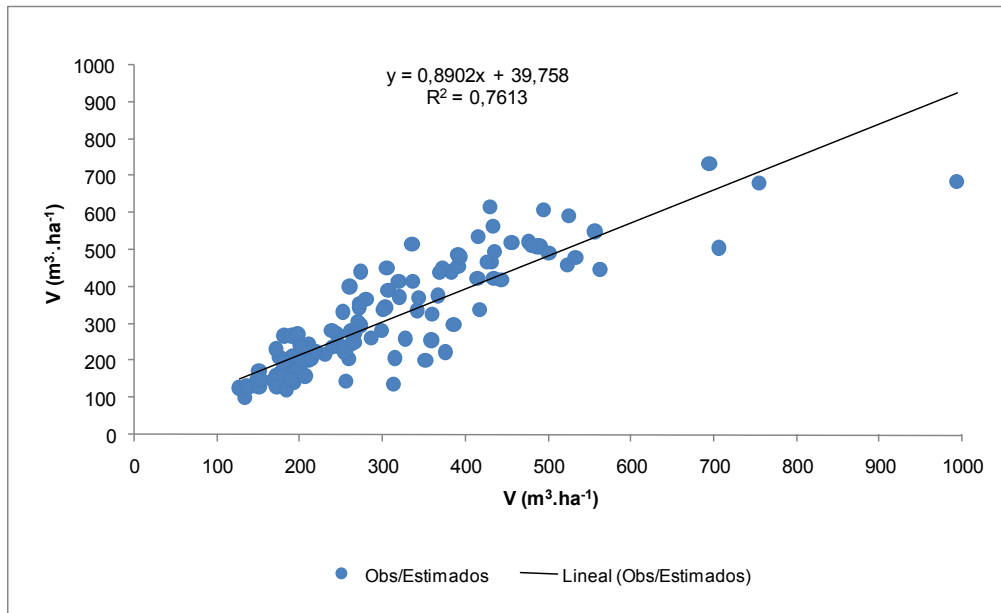
La base de datos analizada abarcó un rango de edades de 9 a 21 años y de índices de sitio con valores de entre 15,7 m y 36,4 m; los volúmenes totales con corteza estuvieron comprendidos entre los 99,9 y los 731,4  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Las curvas anamórficas de índice de sitio obtenidas permitieron un análisis inicial de la calidad de sitio, para su inclusión en el ajuste del modelo de rendimiento (Gráfico 1); El ajuste de la Ecuación 1 se realizó por regresión simple sobre los datos de AMD previamente transformados ( $\ln AMD$ ), es decir ajustando una recta a los datos de  $\ln AMD$  en función de la inversa de la edad, para luego regresar a la ecuación exponencial original (Clutter et al., 1983). Si bien el análisis de varianza de esta regresión fue significativo, el coeficiente de determinación ajustado obtenido para la recta de regresión resultó muy bajo ( $R^2 = 9,31\%$ ), posiblemente debido al faltante de datos para los primeros años de la rotación (1 a 8 años de edad) y a la elevada diversidad de calidades de sitio muestreada; se intentará ampliar la base de datos y evaluar otros modelos de AMD–Edad en busca de ajustes con mayor robustez.



**Gráfico 1.** Valores de altura media dominante y edad para  $n= 119$  parcelas de muestreo de *E. globulus* en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, y trazado de curvas anamórficas de índice de sitio (15 m - 35 m) con una equidistancia de 5 m entre sí, para la edad índice (15 años).

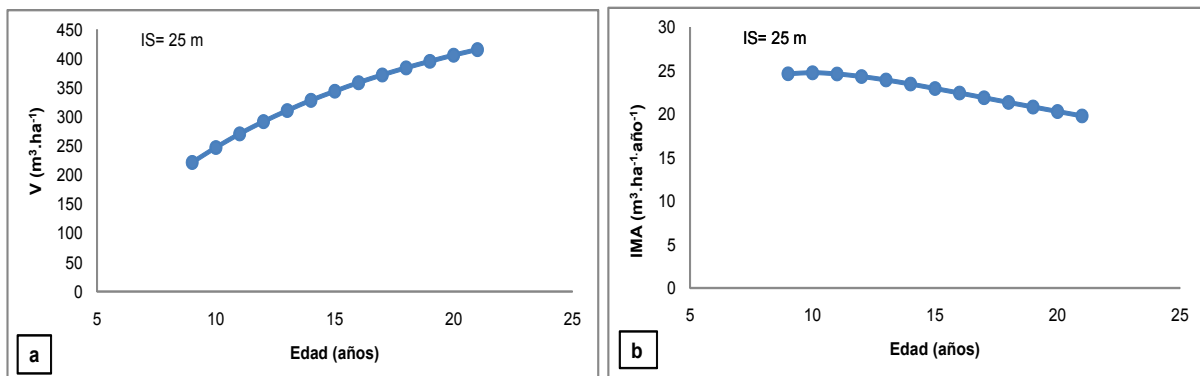
El ajuste del modelo logarítmico de Schumacher (Ecuación 2) a los datos de rendimiento, IS y edad se llevó a cabo mediante regresión múltiple, obteniéndose un ajuste aceptable en lo referente al coeficiente de determinación ajustado ( $R^2= 79,7\%$ ) y a la distribución de valores de rendimiento observados respecto de los estimados por el modelo (Gráfico 2). El modelo de rendimiento desarrollado toma la siguiente expresión:

$$\ln V = 4,09977 - \frac{9,89387}{E} + 0,09645IS$$



**Gráfico 2.** Distribución de los valores de rendimiento ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) observados versus estimados por el modelo para una muestra de  $n=119$  parcelas de *E. globulus* en el sudeste de Buenos Aires.

Si consideramos un sitio de calidad media, que en función de nuestros resultados podría ser la clase de Sitio III ( $IS=25$  m; gráfico 1), y una rotación de 15 años, es posible mediante el modelo estimar un rendimiento de  $344 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (Gráfico 3-a), y un incremento medio anual (IMA) de  $23 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  (Gráfico 3-b). Asimismo, las simulaciones efectuadas con el modelo para la evolución del IMA en todo el rango de calidades de sitio (datos no mostrados) están indicando una edad de culminación de 10 años, lo que significaría que la gran mayoría de los macizos de la región sudeste se encuentran en la fase decreciente del incremento medio anual.



**Gráfico 3.** Evolución de: a) el rendimiento ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y b) el incremento medio anual ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) para un macizo de *E. globulus* con  $IS= 25$  m en el sudeste de Buenos Aires, a partir de estimaciones obtenidas mediante el modelo ajustado en este trabajo.

Tomando como base estos resultados, se está trabajando para evaluar la bondad de ajuste de modelos alternativos, así como también incorporar al modelo una variable independiente vinculada con la densidad del rodal, por ejemplo el índice de densidad de rodal de Reineke (Clutter et al., 1983) o el área basal ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

#### 4. CONSIDERACIONES FINALES

Se ha logrado ajustar en forma preliminar un modelo de rendimiento para los macizos de *Eucalyptus globulus* implantados en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Este modelo permite predecir en forma aceptable el volumen total con corteza ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) de estos rodales a partir del conocimiento de su



edad y su calidad de sitio abarcando una amplia distribución de sitios y tipos de suelo, y constituye una primera herramienta de manejo y toma de decisiones para los productores vinculados con el cultivo de esta especie. Asimismo permite tener una primera aproximación del potencial de rendimiento de estas plantaciones.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se está siendo financiada por el Proyecto de Investigación Aplicada (PIA) N° 14.011, Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación.

## 6. LITERATURA CITADA

ASSMANN E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford. 506 pp.

CLUTTER J.L., FORTSON J.C., PIENAAR L., BRISTER G.H., BAILEY R.L. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. J. Wiley and Sons ed. 333 pp.

FERRERE P., LÓPEZ G., BOCA R., GALETTI M., ESPARRACH C., PATHAUER P. 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. Investigación Agraria: Sist. Recur. For. 14(2): 174-184.

GLADE J.E. 1999. Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos. PROFOSEC, y Proyecto Forestal de Desarrollo SAGPyA-BIRF, NEF Entre Ríos-Corrientes Sur, 11 pp.

Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires 2011. Inventario de macizos forestales de *Eucalyptus globulus* Labill. en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. 30 pp. [En línea]: [Fecha de consulta: 7-9-2017] Disponible en: <http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/final%20inventario.pdf>

R CORE TEAM. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. . [En línea]: [Fecha de consulta: 7-9-2017] Disponible en: <https://www.R-project.org>

SHARRY S. 2013. Argentina Innovadora 2020. Producción y Procesamiento de Recursos Forestales - Documento de Referencia. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Presidencia de la Nación, 31 pp.

VANCLAY J.K. 1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests. Ed. CAB International, Reino Unido, 311 pp.