



INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

URUGUAY



**«SAG TAEDA»:
SISTEMA DE APOYO
A LA GESTIÓN DE
PLANTACIONES DE
*Pinus taeda***

Diciembre, 2015

SERIE
TÉCNICA

224

INIA

«SAG TAEDA»: SISTEMA DE APOYO A LA GESTIÓN DE PLANTACIONES DE *Pinus taeda*

Autores: Cecilia Rachid Casnati¹
Andrés Hirigoyen²

¹Ing. Agr. Programa Nacional Forestal.

²Ing. Agr. Prof. Programa Nacional Forestal.

Título: «SAG taeda»: Sistema de Apoyo a la Gestión de plantaciones de *Pinus taeda*

Autores: Cecilia Rachid Casnati
Andrés Hirigoyen

Serie Técnica N° 224

© 2015, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Roel - Presidente

D.M.T.V., PhD. José Luis Repetto - Vicepresidente



Ing. Agr. Jorge Peñagaricano

D.M.V., MSc. Pablo Zerbino



Ing. Agr. Joaquín Mangado

Ing. Agr. Pablo Gorriti



CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA	2
2.1 Simulación de crecimiento	2
2.1.1 Información utilizada	2
2.1.2 Ecuaciones ajustadas	4
2.2 Simulador de trozado	8
2.2.1 Información utilizada	8
2.2.2 Ecuaciones ajustadas	9
2.3 Análisis económico	12
3. ALCANCE Y USOS DEL MODELO	13
3.1 Alcance y limitaciones del modelo	13
3.2 Usos de la herramienta desarrollada	13
4. INTRODUCCIÓN AL USO DEL SOFTWARE A TRAVES DEL SITIO WEB	14
4.1 Ingreso de datos	14
4.2 Proyección	16
4.3 Módulo de trozado	17
4.4 Análisis económico	18
4.5 Reportes	19
5. CONSIDERACIONES FINALES	21
6. AGRADECIMIENTOS	21
7. REFERENCIAS	21

«SAG TAEDA»: SISTEMA DE APOYO A LA GESTIÓN DE PLANTACIONES DE *Pinus taeda*

1. INTRODUCCIÓN

La planificación y gestión forestal se basan en el proceso de identificación y selección de alternativas de manejo que maximicen los resultados en función de los objetivos o metas trazadas. El resultado de dicho proceso, más conocido como toma de decisiones (Bettinger *et al.*, 2009), es altamente dependiente de la información disponible. En este sentido, herramientas que permitan conocer el estado actual y futuro de los recursos en forma cuantitativa y cualitativa, como los modelos de crecimiento, son imprescindibles para los tomadores de decisiones.

En Uruguay las plantaciones de *Pinus taeda* registradas bajo proyecto ocupan algo más de 180.000 ha (MGAP. DGF, 2012). Aproximadamente un 70 % de las plantaciones se encuentra en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, ascendiendo a más del 80% si se le suma Paysandú. Estos departamentos han sido desde los inicios de la actividad forestal comercial, los principales productores de esta especie. Si bien el ritmo de plantación ha disminuido desde 2010 según dicha fuente, estas plantaciones en su mayoría siguen siendo manejadas con diferentes niveles de intensidad con fines aserrables mayormente.

El Programa Nacional Forestal ha trabajado desde inicios de los años 90 en la evaluación de fuentes de semillas apropiadas para los diferentes sitios (Methol y Resquin, 2001; Resquin, 2004) a través de una red de ensayos ubicados en Lavalleja, Rivera, Tacuarembó, Paysandú, Cerro Largo y Treinta y Tres. A principios de la década del 2000, el Programa Forestal inicia sus esfuerzos por desarrollar una raza local, e instala un huer-

to semillero clonal con material genético proveniente de árboles plus de plantaciones comerciales ubicadas en diferentes zonas forestales del Uruguay (Cattaneo y Methol, 2004).

Si bien se ha generado conocimiento acerca de los crecimientos en diferentes sitios no sólo por parte del Programa Forestal sino también por parte de otros organismos del sector público como Dirección Forestal (Sorrentino, 1992) y Facultad de Agronomía, así como del sector privado (a través de sistemas de inventario y gestión de las plantaciones de varias empresas), no existen modelos de crecimiento de uso público disponibles para el manejo de plantaciones de esta especie. Por otro lado, el Programa Forestal viene desarrollando sistemas de apoyo a la gestión de plantaciones forestales con alto grado de adopción por parte de los diferentes actores del sector forestal. Por estos motivos, se priorizó el desarrollo de un modelo de crecimiento para *Pinus taeda* similar a los ya desarrollados para eucaliptos (Methol, 2008, 2006, 2003) contenido en un sistema de gestión. El mismo se encuentra disponible a través de un sitio web, el cual ofrece ventajas respecto a la gestión de mejora continua del producto así como futuras interacciones con otros sistemas o fuentes de datos.

La presente serie técnica describe un modelo de crecimiento desarrollado para *Pinus taeda*, donde inicialmente se explica la estructura del sistema y la metodología utilizada para su desarrollo incluyendo las diferentes ecuaciones que lo componen. Se discute luego el alcance del modelo así como también brevemente los posibles usos de la información presentada y finalmente se realiza una introducción a su uso mediante el sitio web.

2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA

La estructura del SAG *taeda* está basada en el arreglo utilizado para el SAG *grandis* (Methol, 2003) y SAG *globulus* (Methol, 2006), específicamente basado en el módulo Rodal 1 de estos sistemas, componiéndose de un módulo de simulación de crecimiento, un módulo de simulación de trozado y un complemento para análisis económico. A su vez, los primeros dos módulos se componen básicamente de sistemas de ecuaciones ajustadas para la especie, mientras que el tercero se basa en cálculos económicos de aplicación general, por lo que este último será descripto muy brevemente. La estructura del sistema por módulos y la función de cada módulo se esquematizan en la Figura 1.

2.1 Simulación de crecimiento

El módulo de simulación de crecimiento permite proyectar variables poblacionales a la edad deseada. Al igual que los anteriores modelos desarrollados, el presente es de naturaleza empírica, ajustado en base a parcelas permanentes de muestreo. El modelo desarrollado simula crecimiento a nivel de rodal lo que significa que consume y proyecta valores por unidad de superficie (hec-

tárea) para el caso de área basal y mortalidad. El área basal es luego desagregada a nivel de individuo a través de la generación de distribuciones diamétricas en el módulo de trozado.

2.1.1 Información utilizada

La información utilizada proviene de ensayos INIA y de parcelas permanentes pertenecientes a empresas del sector privado, utilizándose parcelas donde el DAP (diámetro a la altura del pecho¹) y la altura total (H) fueron medidos a la totalidad de individuos dentro de la parcela en sucesivas mediciones. Con esta información se calcularon las variables de interés que componen el sistema de ecuaciones: altura media dominante (AMD), área basal por hectárea (G), número de árboles por hectárea, diámetro a la altura del pecho máximo (D_{max}) y desvío estándar de los diámetros a la altura del pecho (D_{de}). El número de parcelas utilizadas se muestran en el Cuadro 1, mientras que los valores máximos, medios y mínimos para las variables calculadas se presentan en el Cuadro 2.

Para *P. taeda*, no se ajustaron modelos por zona a través de variables dummy² como se ha hecho en modelos anteriores debido a que la gran mayoría de los datos utilizados

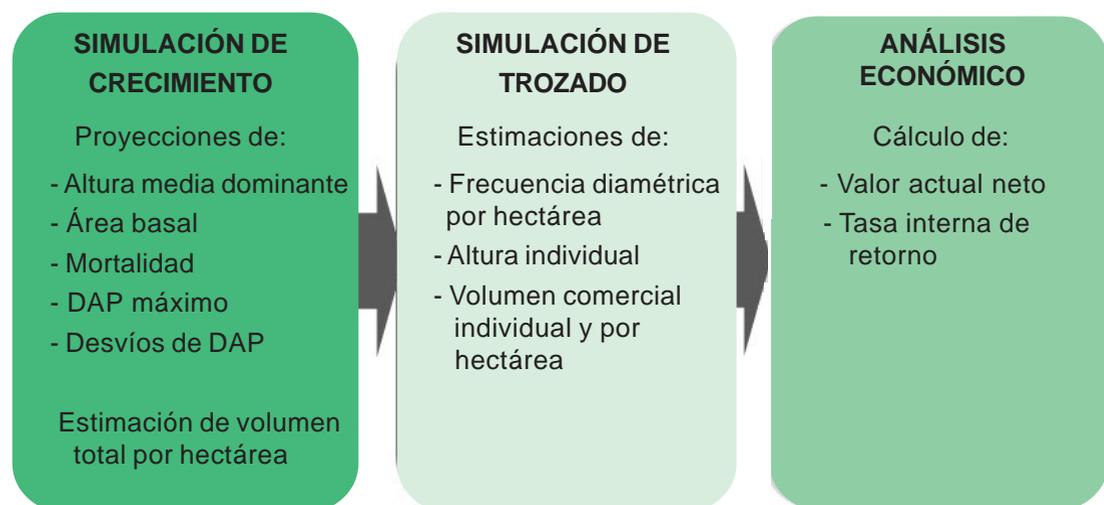


Figura 1. Estructura del sistema y funciones de cada componente.

¹Para Uruguay la altura de referencia es de 1.3 m.

²Las variables dummy son variables independientes que toman el valor de 0 ó 1 para activar o desactivar cierta cualidad o atributo.

Cuadro 1. Número de parcelas y mediciones utilizadas para ajustar modelos de proyección para cada variable.

Variable	Número
Número de parcelas utilizadas	1602
Mediciones por parcela:	
Promedio	3,8
Mínimo	2
Máximo	8
Total de mediciones	5310

Cuadro 2. Valores medios, máximos y mínimos de las principales variables.

Variabes	Promedio	Mínimo	Máximo
Edad (años)	5,3	2,0	25,9
DAP medio (cm)	13,3	1,9	42,0
H media (m)	7,5	1,8	26,9
AMD (m)	8,2	2,0	27,0
G (m ² /ha)	10,2	0,1	47,5
Población (arb/ha)	653	67	1333
D _{max} (cm)	16,6	3,1	45,4
D _{de} (cm)	1,8	0,1	5,0
Área de parcelas permanentes (m ²)	345	200	500

y con amplitud de edad necesaria provienen de la zona CIDE 7 (Figura 2), por lo que diferencias respecto a tasas de crecimiento en-

tre zonas se traducen a través del índice de sitio, el cual expresa las diferencias en productividad de cada sitio.

3

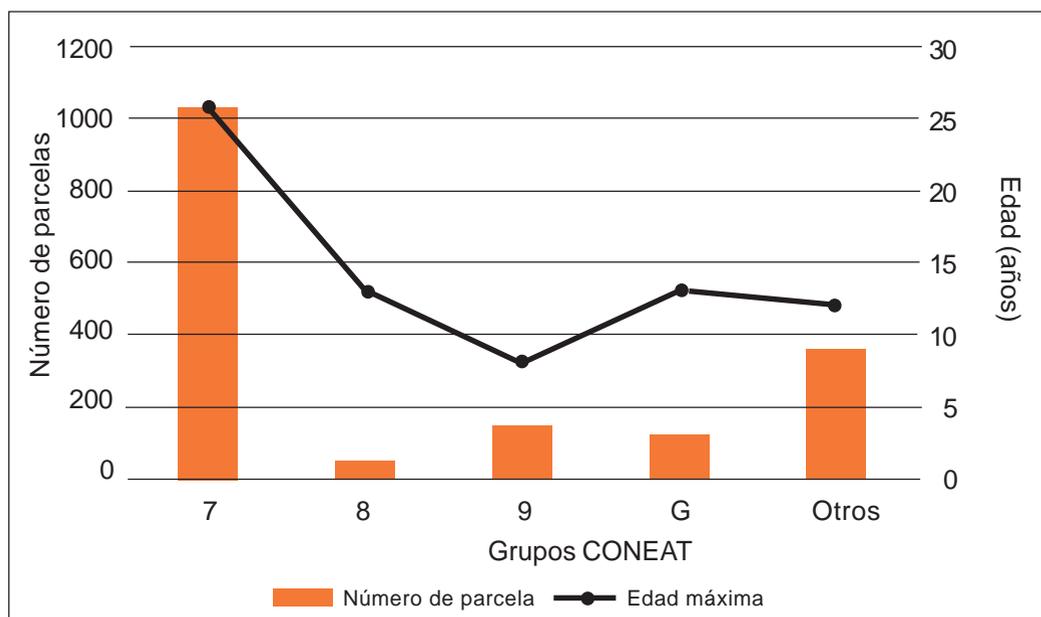
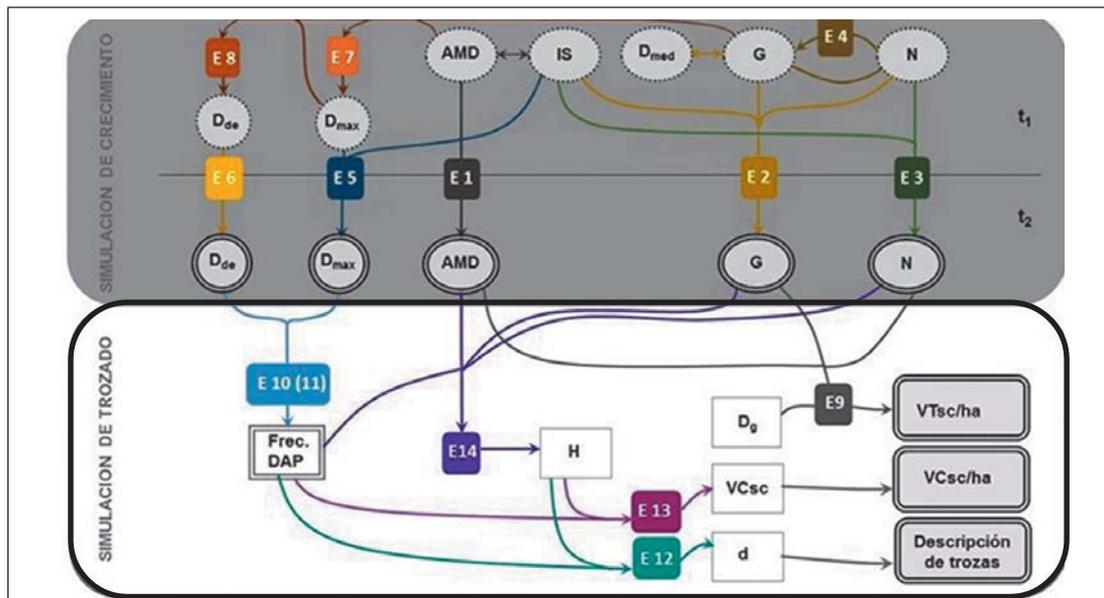


Figura 2. Frecuencias de parcelas según grupos CONEAT y edad máxima para cada grupo.

2.1.2 Ecuaciones ajustadas

Los módulos de simulación de crecimiento y simulación de trozado están compuestos por el sistema de ecuaciones especificado en la Figura 3. El primer módulo, descrito en el presente numeral, consta de 6 ecuaciones diferenciales, es decir, de proyección de las variables de interés desde una edad inicial (t_1) a cualquier edad deseada (t_2) a partir del valor inicial de la variable en t_1 . Dichas funciones de proyección se corresponden con las ecuaciones 1, 2, 3, 5 y 6, mientras que la ecuación 4 se orienta al cálculo del área basal pos-raleo a cualquier edad. Las variables proyectadas en el tiempo brindan información útil para el manejo de plantaciones pero además constituyen el input necesario para conocer la frecuencia de clases diamétricas y el ahusamiento de cada clase en el siguiente módulo.

Para cada una de las variables de interés, se ensayaron varias ecuaciones en pos de elegir la de mejor performance. Dicha selección se realizó en base a estadísticos de ajuste como el valor promedio de los residuos (siendo este último la diferencia entre el valor observado y el esperado de la variable de interés). El residuo promedio es una medida de exactitud o de sesgo del modelo, el cual debería aproximarse a cero; si el residuo promedio se aleja de cero significa que el modelo subestima o sobrestima dependiendo del signo. Además se analizó el desvío estándar de los residuos, el cual indica el grado de precisión del modelo (Methol, 2001) y también se analizaron las gráficas de residuos en función de valores estimados y variables independientes incluidas en las ecuaciones, siendo las ecuaciones seleccionadas aquellas que presentaron las mínimas tendencias.



Referencias

- AMD:** altura media dominante
- IS:** índice de sitio
- G:** área basal por hectárea
- N:** número de árboles por hectárea
- D_{de} : desvío de diámetros
- D_{max} : diámetro máximo
- D_g : diámetro cuadrático medio
- D_{med} : diámetro medio
- H:** altura
- VTsc:** volumen total sin corteza
- VCsc:** volumen comercial sin corteza
- d:** diámetro a cualquier altura



Figura 3. Integración de las ecuaciones ajustadas para los módulos de simulación de crecimiento y trozado.

Las ecuaciones componentes del módulo de simulación de crecimiento especificadas en la Figura 3 se detallan a continuación y su numeración se corresponde con la numeración en la misma figura.

Altura media dominante (AMD)

El desarrollo en altura influencia sustancialmente la productividad en términos de volumen, pero la importancia de esta variable descansa sobre todo en su relación con la calidad del sitio. El objetivo de desarrollar curvas de altura media dominante es conocer el patrón de comportamiento esperado a lo largo de la vida de un rodal (Clutter *et al.*, 1983). De esta forma, el índice de sitio, basado en la altura media dominante, constituye un método directo y tradicional de clasificación de sitios. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el material genético y la silvicultura empleada pueden influenciar este índice, por lo que éste debería considerarse más bien como indicador de la productividad del cultivo (Methol, 2001).

La altura dominante se definió, al igual que en los SAG anteriores, como la altura promedio de los 100 árboles de mayor diámetro de la hectárea, utilizándose la metodología propuesta por García (1998) para el cálculo del número de individuos a seleccionar en cada parcela. En el presente modelo se ha elegido la edad clave de 10 años, a pesar de que la edad clave recomendada para índices de sitio de esta especie para nuestro país es mayor (Sorrentino, 1992). Esto se debió a que casi 100 % de las parcelas utilizadas en el ajuste de ecuaciones tienen edad menor a 13 años, por lo que cualquier proyección de altura dominante (y otras variables) a edades mayores significa la extrapolación de valores más allá de los datos conocidos, y por lo tanto guardan un alto grado de incertidumbre. Es decir, dado que el conocimiento del grado de desarrollo en altura en los diferentes sitios así como la relación de la altura dominante con otras variables que componen el modelo a la edad

clave de 15 años es limitado, se utilizó una edad más joven que la recomendada en la que sí se conocen dichas relaciones.

La función diferencial seleccionada para modelar altura media dominante fue la forma polimórfica³ de la ecuación de Chapman-Richards (o Von Bertalanffy-Richards) expresada como:

$$AMD_2 = a \left(\frac{AMD_1}{a} \right)^{\frac{\ln(1-e^{-kt_2})}{\ln(1-e^{-kt_1})}} \quad (1)$$

Donde:

AMD_1 = altura media dominante a la edad inicial de proyección

AMD_2 = altura media dominante a la edad final de proyección

t_1 = edad inicial de proyección

t_2 = edad final de proyección

$a = 28.281$

$k = 0.1047$

En la Figura 4 se muestran las curvas de altura media dominante para diferentes IS (edad clave de 10 años) desde 7 a 21 m con una amplitud de 2 m y su relación con las trayectorias reales de las parcelas permanentes. Según las proyecciones realizadas, 15 m representaría un sitio intermedio, mientras que la altura media dominante máxima en los mejores sitios a los 25 años se estima en 28 m aproximadamente.

Área basal por hectárea (G)

Para área basal, la función seleccionada fue la forma polimórfica de 3 parámetros de la función de Chapman-Richards:

$$G_2 = a \left\{ 1 + \left[\left(\frac{a}{G_1} \right)^v - 1 \right] e^{[-b(t_2-t_1)]} \right\}^{\frac{1}{v}} \quad (2)$$

Donde:

G_1 = área basal (m²/ha) a la edad inicial de proyección

G_2 = área basal (m²/ha) a la edad final de proyección

³El patrón de crecimiento representado por una curva se define según la asíntota (a) y los parámetros de forma (b y c). Según la variación de estos componentes en una familia de curvas, éstas pueden clasificarse en: polimórficas, aquellas curvas con diferente forma pero con una asíntota en común; o anamórficas, las cuales difieren en cuanto a la asíntota pero mantienen en común el parámetro de forma.

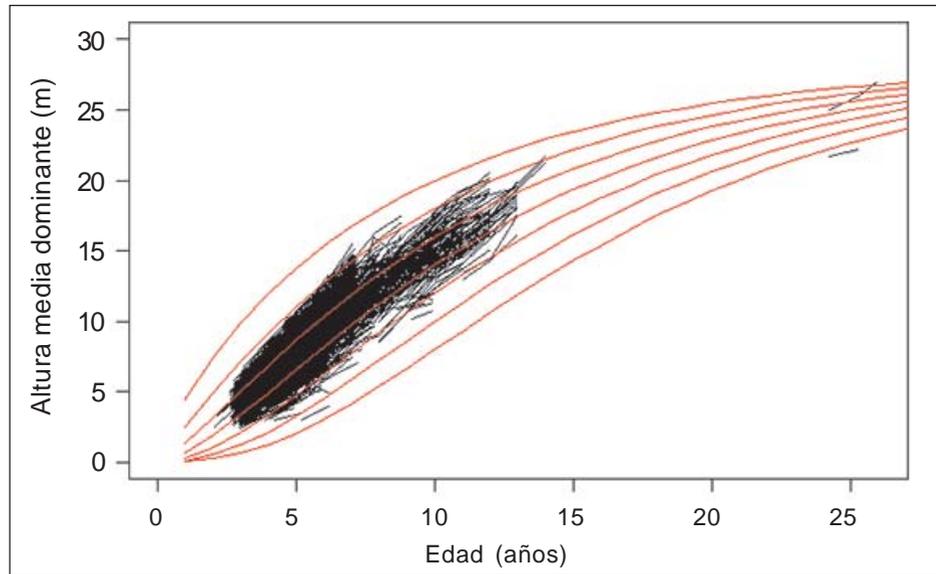


Figura 4. Familia de curvas de altura media dominante y trayectorias de datos observados.

$$a = a_0 + a_1 IS + a_2 N_0$$

$$a_0 = -1.8427$$

$$a_1 = 2.4264$$

$$a_2 = 0.0340$$

IS = Índice de sitio

N_0 = Población inicial o población post-raleo

$$b = 0.1269$$

$$v = -0.4248$$

t_1 = edad inicial de proyección

t_2 = edad final de proyección

Al igual que para modelos ajustados para *E. grandis* y *E. globulus* (Methol, 2003, 2006), también se incluyó un ajuste por calidad de sitio y número de árboles por hectárea inicial o post-raleo. Los mismos modifican la asíntota, de forma que el valor máximo de área basal aumenta cuanto mayor el índice de sitio y mayor también la densidad inicial o post-raleo. Se utiliza el número de árboles iniciales o post raleo en lugar de la población efectiva para mantener la propiedad de invariancia ("path invariance"), la cual asegura que el área basal estimada a la edad deseada (G_2) no varíe cuando se parte de diferentes edades iniciales. Además, también se evita incluir errores de estimación de población al utilizar la ecuación de mortalidad.

Área basal post raleo (G_{post})

Al realizar raleos por lo bajo (mayormente aplicados en nuestro país), donde se extrae la porción de menor diámetro de la población, la reducción en área basal es proporcionalmente menor al número de árboles extraídos. Por ello es necesario modelar esta variable en función del número de árboles presentes antes y después del raleo. La ecuación seleccionada para ello fue la siguiente función utilizada por Methol (2001) para *Eucalyptus grandis*:

$$G_{post} = b_1 G_{ant}^{b_2} \left[1 - \left(1 - \frac{N_{post}}{N_{ant}} \right)^{b_3} \right]^{b_4} \quad (3)$$

Donde:

G_{ant} = área basal/ha pre-raleo

G_{post} = área basal/ha post-raleo

$$b_1 = 1.1313$$

$$b_2 = 1.0057$$

$$b_3 = 0.7662$$

$$b_4 = 0.8712$$

N_{ant} = número de árboles/ha pre-raleo

N_{post} = número de árboles/ha post-raleo

t_1 = edad inicial de proyección

t_2 = edad final de proyección

Número de árboles vivos por hectárea (N)

Estimar el número de árboles vivos por hectárea es esencial para proyectar la dinámica poblacional, debido a la influencia de ésta variable sobre la productividad en términos de área basal y diámetro individual de los fustes. Sin embargo, es una variable que reviste de gran dificultad en su modelación debido a la naturaleza compleja de interacciones desarrolladas entre individuos de la población así como entre individuos y agentes ambientales. El uso de variables explicativas (relacionadas a la mortalidad) como edad o competencia es frecuente para mejorar la calidad de predicción de esta variable. En este caso, la ecuación seleccionada para modelar el número de árboles vivos por hectárea en función del tiempo fue la propuesta por Clutter *et al.* (1983), en la cual se incluyó el efecto del índice de sitio. Dicha ecuación se define como:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^b e^{a(t_2-t_1)} \quad (4)$$

Donde:

N_1 = número de árboles/ha a la edad inicial de proyección

N_2 = número de árboles/ha a la edad final de proyección

$a = a_0 + a_1 IS$

$a_0 = -0.029$

$a_1 = 0.00144$

$b = -0.1429$

t_1 = edad inicial de proyección

t_2 = edad final de proyección

DAP máximo (D_{max})

El DAP máximo promedio así como el desvío estándar promedio de los DAPs son parámetros necesarios para modelar la distribución diamétrica (utilizando la función de densidad de probabilidad de Weibull invertida) como se describe más adelante (numeral 2.2.2). La función seleccionada para proyectar DAP máximo fue la siguiente ecuación de Chapman-Richards polimórfica de tres parámetros:

$$D_{max_2} = a \left\{ 1 + \left[\left(\frac{a}{D_{max_1}} \right)^v - 1 \right] e^{[-b(t_2-t_1)]} \right\}^{-\frac{1}{v}} \quad (5)$$

Donde:

D_{max_1} = DAP máximo a la edad inicial de proyección

D_{max_2} = DAP máximo a la edad final de proyección

$a = a_0 + a_1 IS$

$a_0 = 68.2229$

$a_1 = 1.4815$

$v = -1.4407$

$b = 0.0257$

t_1 = edad inicial de proyección

t_2 = edad final de proyección

Para esta variable, también se incluyó el efecto del índice de sitio en la asíntota de la función. Ello significa que el valor máximo al que tiende la variable se modifica según varíe el IS: a mayor IS, mayor valor de diámetro máximo, como se ha observado también en los modelos anteriores desarrollados para Uruguay (Methol, 2006, 2003)

Desvío estándar de los DAPs (D_{de})

Para la proyección del desvío estándar de los diámetros, la ecuación con mejor ajuste fue la siguiente forma polimórfica de la función de Gompertz:

$$D_{de_2} = e^{ln(D_{de_1})e^{-b(t_2-t_1)+c(t_2^2-t_1^2)}} e^a [1 - e^{-b(t_2-t_1)+c(t_2^2-t_1^2)}] \quad (6)$$

Donde:

D_{de_1} = desvío estándar de los DAPs al inicio de la proyección

D_{de_2} = desvío estándar de los DAPs al final de la proyección

$a = a_0 + a_1 IS + a_2 N_0$

$a_0 = 1.46876$

$a_1 = -0.0012$

$a_2 = -0.00021$

$b = 0.0956$

$c = -0.00747$

t_1 = edad inicial de proyección

t_2 = edad final de proyección

DAP máximo inicial y desvío de DAP inicial

Para el uso del presente sistema de ecuaciones, se recomienda que los valores iniciales de DAP máximo y desvío de los DAPs sean extraídos de información existente (proveniente de inventarios o muestreos). Sin embargo, para los casos en que esta información no esté disponible, se proveen ecuaciones para su estimación utilizando los valores iniciales de las demás variables poblacionales. Dichas ecuaciones se expresan de la siguiente forma:

$$D_{max1} = b_0 + b_1 AMD_1 + b_2 D_{g1} + b_3 t_1 + b_4 G_1 \quad (7)$$

Donde:

D_{max1} = diametro maximo inicial

$$b_0 = 1.595$$

$$b_1 = 0.236$$

$$b_2 = 0.878$$

$$b_3 = 0.122$$

$$b_4 = 0.057$$

D_{g1} = diámetro cuadrático medio al inicio de la proyección

t_1 = edad inicial de proyección

G_1 = área basal inicial

AMD_1 = altura media dominante

y:

$$D_{de1} = b_1 t_1 + b_2 \ln(G_1) + b_3 D_{max1} + b_4 \ln(D_{g1} D_{max1}) \quad (8)$$

Donde:

D_{de1} = desvío inicial de los DAPs

$$b_1 = -0.040$$

$$b_2 = -0.564$$

$$b_3 = 0.125$$

$$b_4 = 0.206$$

y las demás variables como especificadas arriba

Estimación de volumen por hectárea (VT)

Con el fin de estimar el volumen total sin corteza por hectárea, se ajustó una ecuación exponencial que utiliza algunas de las variables poblacionales proyectadas a la edad deseada. La ecuación se define como:

$$VT = e^{b_0 + b_1 \ln(G.AMD) + b_2 \ln(D_g) + b_3 \frac{AMD.Edad}{100} + b_4 \sqrt{\frac{G}{N}}} \quad (9)$$

Donde:

$$b_0 = 1.402999$$

$$b_1 = 0.984763$$

$$b_2 = -0.870106$$

$$b_3 = -0.024921$$

$$b_4 = 3.593027$$

y las demás variables como especificadas anteriormente

2.2 Simulador de trozado

El segundo módulo, de simulación de trozado, está compuesto por ecuaciones orientadas a detallar la distribución de DAPs del rodal así como también la descripción del ahusamiento de fustes. Estimar la frecuencia de los diferentes diámetros en un rodal es muy útil para la planificación de manejos. A su vez, la función de ahusamiento se complementa con la función de distribución diamétrica para el aporte de información sobre los posibles productos maderables a obtener del rodal, ya que permiten estimar diámetros a diferentes alturas del fuste y así conocer dimensiones y volúmenes de trozas de las diferentes clases diamétricas en el turno deseado. Este módulo, por lo tanto, permite comparar distintos sistemas de trozado y elegir aquellos que generen los mayores ingresos.

2.2.1 Información utilizada

La información empleada para generar distribuciones diamétricas es la misma explicitada anteriormente en el numeral 2.1.1 ya que la función seleccionada utiliza algunas de las variables de rodal proyectables.

Para el ajuste de funciones de ahusamiento y volumen individual se utilizó información de diámetro sin corteza medidos a cada 1 m de altura, proveniente de 671 árboles trozados originarios de plantaciones situadas en diferentes zonas del país (explicitadas en la Figura 2). La cobertura de información de los arboles cubicados se indica en el Cuadro 3, mientras que la frecuencia de edades, así como el diámetro promedio por edad se muestran en la Figura 5.

Cuadro 3. Valores promedio, mínimos y máximos de las variables de interés para el desarrollo de funciones de ahusamiento y volumen.

Variables	Promedio	Mínimo	Máximo
Edad (años)	7.7	3.0	27.0
DAP (cm)	17.8	2.1	57.0
Ht (m)	10.3	2.5	20.5
Volumen total sin corteza (m ³ /árbol)	0.192	0.0007	2.49

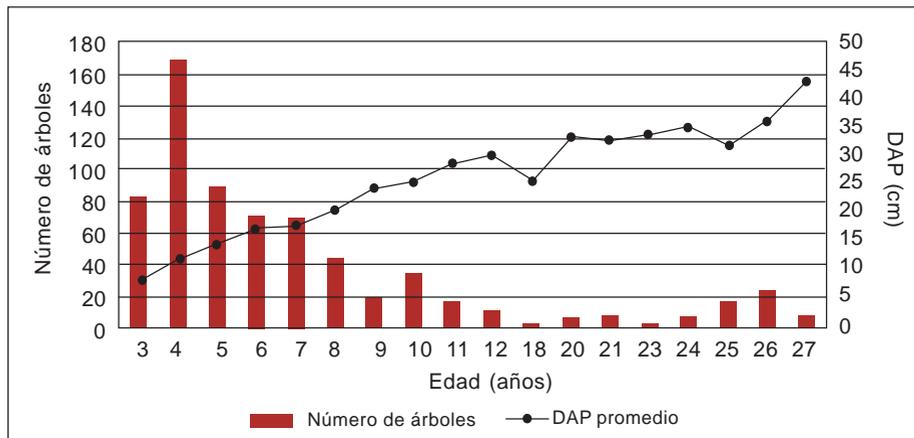


Figura 5. Número de árboles según edad utilizados para el ajuste de funciones de ahusamiento y volumen, y correspondiente DAP promedio por edad.

2.2.2 Ecuaciones ajustadas

Las ecuaciones que componen este módulo, así como su integración, se enumeran de 10 a 14 en la Figura 3. Si bien en la figura se muestran en una etapa posterior a la proyección de las variables de rodal, la estimación de la distribución diamétrica, ahusamiento y volumen podría realizarse directamente con valores iniciales del rodal si se desea.

Distribución diamétrica

La modelización de la distribución diamétrica se realiza por medio de funciones de densidad de probabilidad (fdp), las cuales utilizan variables dasométricas. Si bien recientemente Hirigoyen y Rachid (2014) observaron que la función SB de Johnson con parámetros estimados a través del método de los momentos ofrece mejor ajuste de las distribuciones para la especie, la función de densidad de probabilidad seleccionada para *Pinus taeda* fue la de Weibull invertida, la

cual ha sido utilizada también en los modelos para *E. grandis* (Methol, 2003) y *E. globulus* (Methol, 2006). La misma se caracteriza por emplear el diámetro máximo en contraposición al diámetro mínimo (utilizado en otras fdp como la Weibull tradicional y SB de Johnson), lo cual ofrece las siguientes ventajas: i) es más fácil de proyectar, ii) no necesita ajustes luego de raleos por lo bajo (los cuales predominan en el país) y iii) supone mayor precisión en la estimación de diámetros altos, donde se concentra el mayor valor del rodal. El método utilizado para la estimación de los parámetros a, b y c es una adaptación realizada por Methol (2001) del método de los momentos propuesto inicialmente por (García, 1981) para la distribución Weibull.

La función de Weibull invertida se define como:

$$f(DAP) = (c/b) \left[\left(\frac{a - DAP}{b} \right)^{c-1} \right] e^{-\left(\frac{a - DAP}{b} \right)^c} \tag{10}$$

Mientras que la función acumulada es la siguiente:

$$F(DAP) = \exp\left[-\left(\frac{a-DAP}{b}\right)^c\right] \text{ cuando } 0 \leq DAP \leq a$$

$$F(DAP) = 1 \text{ cuando } DAP \geq a$$
(11)

Siendo:

$f(DAP)$: frecuencia de cualquier DAP especificado

$$a = D_{max}$$

$$b = \frac{a-D_{med}}{\Gamma(1+\frac{1}{c})} \text{ Siendo } \Gamma(\chi) \text{ la función Gamma de } x$$

$$D_{med} = \sqrt{D_g^2 - D_{var}}$$

siendo D_{med} y D_{var} el diámetro medio y la varianza de los diámetros respectivamente

$$c = \frac{1}{z[1+(1-z)^2(kz_0+kz_1+kz_2+kz_3+kz_4+kz_5)]}$$

Donde:

$$z = \frac{D_{de}}{(a - D_{med})}$$

$$kz_0 = -0.22004032z^0$$

$$kz_1 = -0.001433169z^1$$

$$kz_2 = 0.150611381z^2$$

$$kz_3 = -0.078575996z^3$$

$$kz_4 = 0.004305716z^4$$

$$kz_5 = 0.008804944z^5$$

$$D_{var} = D_{de}^2$$

$$D_g = \left(\sqrt{\frac{4G}{\pi N}}\right) 100$$

Para calcular el número de árboles por hectárea de la clase diamétrica de interés se resta la frecuencia acumulada del límite superior a la frecuencia acumulada del límite inferior de dicha clase y se multiplica por el número de árboles por hectárea de la siguiente forma:

$$Frec_i = [Frec(LS_i) - Frec(LI_i)]N$$

Siendo:

LS_i = límite superior de la clase diamétrica i (cm)

LI_i = límite inferior de la clase diamétrica i (cm)

N = número total de árboles por hectárea

Algunos ejemplos de cómo se modifican las curvas de distribución diamétricas según el valor de los desvíos de los diámetros y diámetro máximo (variables altamente afectadas por la densidad poblacional) se muestran en la Figura 6. En este caso se seleccionaron observaciones reales de parcelas con un bajo nivel de manejo, en las cuales es esperable que el desvío de los diámetros y el diámetro medio, así como el DAP máximo, aumenten con la edad si la densidad poblacional se mantiene aproximadamente constante. Sin embargo, si se efectuara un raleo por lo bajo (a 350 árb/ha, por ejemplo), podría observarse un desvío menor (a edades similares) y aumento del diámetro medio sin modificaciones en el diámetro máximo.

Ahusamiento y volumen individual

La función de ahusamiento permite estimar la variación del diámetro a lo largo del fuste en función de la altura y del DAP. La ecuación utilizada fue la siguiente función segmentada propuesta por Max y Burkhart (1976) y ajustada por Rachid *et al.* (2014) para rodales de la zona norte del país:

$$d^2 = DAP^2 \left[b_1 \left(\frac{h}{H} - 1\right) + b_2 \left(\frac{h^2}{H^2} - 1\right) + b_3 \left(a_1 - \frac{h}{H}\right)^2 I_1 + b_4 \left(a_2 - \frac{h}{H}\right)^2 I_2 \right]$$
(12)

Donde:

h = altura de interés

d = diámetro sin corteza a cualquier altura h deseada

$$b_1 = -2.985498$$

$$b_2 = 1.511906$$

$$b_3 = -2.052886$$

$$b_4 = 41.793622$$

$$a_1 = 0.560245$$

$$a_2 = 0.095326$$

$I_i = 1$ si $h/H \leq a_i$, de lo contrario $I_i = 0$
 $i = 1, 2$

Esta función segmentada supone la unión de tres sólidos de revolución: neiloide (en la base del árbol), paraboloide (en la sección media) y cono (en el extremo apical), unidos por dos puntos de intersección (a_1 y a_2). Un ejemplo de la información proporcionada por esta ecuación se muestra en la Figura 7, donde se observan diferentes perfiles de fustes para árboles de DAPs variados.

La función presenta la ventaja de estimación de alturas a cualquier diámetro deseado en forma directa (Martin, 1981) y además puede integrarse para calcular el volumen a cualquier altura de interés (Brooks *et al.*, 2008,

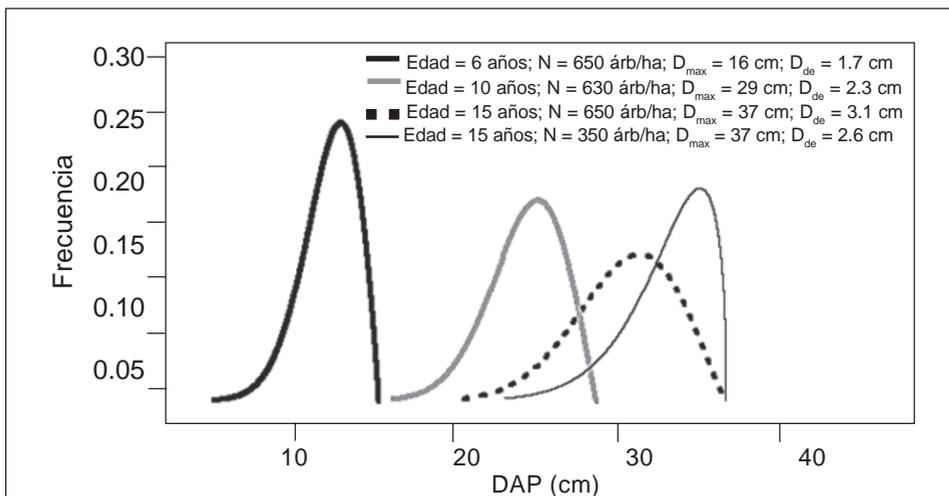


Figura 6. Ejemplos de distribuciones diamétricas para parcelas con aproximadamente el mismo índice de sitio (15 m) a diferentes edades.

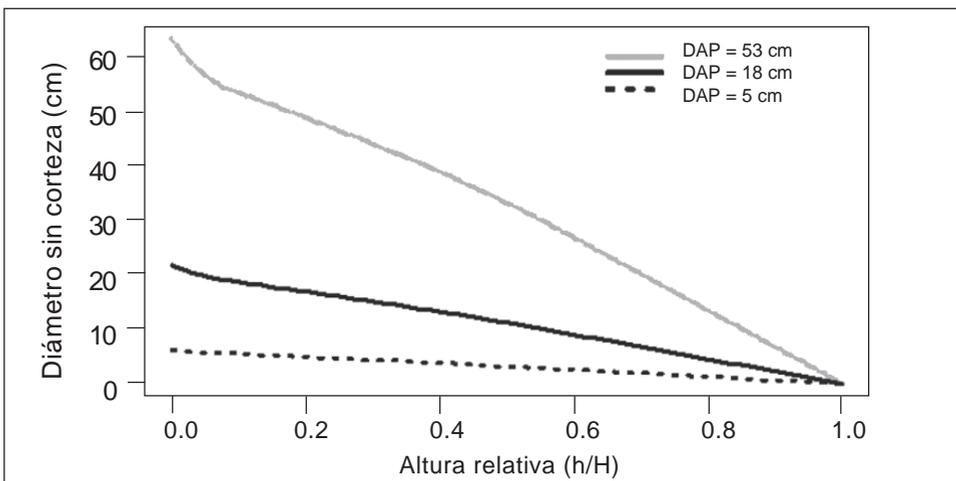


Figura 7. Diámetros sin corteza en función de la altura relativa para DAP medio y cercanos a extremos (según valores de la población base).

2007). En este sentido, el volumen por troza se calcula como:

$$VC_{sc_t} = 0.7854 \left(\frac{DAP}{100} \right)^2 H \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_2}{3} (X_s^3 - X_b^3) + \frac{b_1}{2} (X_s^2 - X_b^2) - (b_1 + b_2)(X_s + X_b) \\ -b_3 [(a_1 - X_s)^3 J_1 - (a_1 - X_b)^3 K_1] \\ -b_4 [(a_2 - X_s)^3 J_2 - (a_2 - X_b)^3 K_2] \end{array} \right\} \quad (13)$$

Donde:

VC_{sc_t} = volumen comercial sin corteza para cada troza

$b_1, b_2, b_3, b_4, a_1, a_2$ tienen los mismos valores que para la Ecuación 12.

$X_s = h_s/H$; h_s = altura en el extremo superior de la troza

$X_b = h_b/H$; h_b = altura en el extremo basal de la troza

$J_i = 1$, si $X_s \leq a_i$, de lo contrario $J_i = 0$

$K_i = 1$, si $X_b \leq a_i$, de lo contrario $K_i = 0$

$i = 1, 2$

Altura total (H)

Para estimar el ahusamiento del tronco de las diferentes clases diamétricas, se requiere conocer primeramente la altura total tipo correspondiente a cada clase. Para ello, se ajustó una modificación de la ecuación utilizada por (Methol, 2003) que tiene en cuenta el área basal por hectárea, la altura media dominante y la población por hectárea como se detalla a continuación:

$$H = 1.3 + a \left[\frac{DAP}{(1 + DAP)} \right]^b \quad (14)$$

Donde:

$a = a_0 + a_1 AMD$

$b = b_0 + b_1 t_1 + b_2 \ln(N) + b_3 G + b_4 \frac{AMD}{t_1}$

$a_0 = 0.0707$

$a_1 = 1.0638$

$b_0 = 3.2766$

$b_1 = 0.1021$

$b_2 = -0.0419$

$b_3 = -0.0117$

$b_4 = 0.8837$

Finalmente el volumen comercial por hectárea se calcula mediante la suma de volúmenes comerciales individuales de los fustes comprendidos en una hectárea según su distribución en clases de DAP, calculados mediante la ecuación 13 y la altura estimada a través de la ecuación 14.

2.3 Análisis económico

El componente de análisis económico provee herramientas para el manejo de plantaciones y análisis de inversiones, orientadas a comparar 2 o más proyectos alternativos. Los indicadores de resultado económico que ofrece el sistema son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

El VAN describe el valor al presente de un conjunto de costos e ingresos futuros dada una tasa de descuento determinada. Dicha tasa de interés se conoce como costo de capital y puede ser considerada como el costo de oportunidad de tener el capital invertido en el proyecto en lugar de tenerlo en inversiones alternativas. El pago de intereses se realiza sumando periódicamente intereses sobre la inversión inicial, o sea, se basa en la inversión inicial más el interés generado hasta el momento (interés compuesto). Si el VAN es positivo, la alternativa analizada se considera rentable, mientras en caso contrario la alternativa se considera no viable (Methol, 2006, 2003).

La tasa interna de retorno se define como la tasa de interés que devuelve un valor actual neto igual a cero. También puede verse como la tasa de crecimiento de una inversión o su eficiencia, por lo que cuanto mayor es su valor, más atractiva resulta dicha inversión. Sin embargo, dado que la misma no permite comparar la magnitud de las ganancias, a veces se prefiere el uso de este indicador para conocer si el retorno económico de una inversión es el esperado, en lugar de utilizarlo para comparar diferentes

opciones de inversiones (Bettinger *et al.*, 2009). En este sentido, el sistema devuelve los valores de ambos indicadores de forma que el usuario utilice aquel de su preferencia.

3. ALCANCE Y USOS DEL MODELO

3.1 Alcance y limitaciones del modelo

Los modelos empíricos estiman el desarrollo más probable de las diferentes variables de rodal (Methol, 2003), las limitaciones del mismo están íntimamente relacionadas con las limitaciones de la población base utilizada para su desarrollo. Si bien en este caso, la misma ha sido conformada por un número alto de parcelas permanentes, ubicadas en un rango amplio de sitios, la base se compuso de información proveniente en su gran mayoría de plantaciones situadas en la zona CIDE 7, de edades menores a 13 a años, con muy escasas parcelas mayores a 20 años. De esta forma, el modelo debe actualizarse en la medida que existan mediciones disponibles de parcelas permanentes provenientes de rodales cercanos a la edad de corta. Mientras tanto, todas las proyecciones realizadas más allá de los 15 años deben ser tomadas con cautela.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es que la totalidad de rodales que forman la base fueron manejados con raleo, por lo que el crecimiento en diámetro, así como diámetro máximo y evolución de desvíos de diámetros representan una situación promedio de rodales manejados con varios raleos a lo largo del tiempo, y con diferenciación en tasas de crecimiento en general por calidad de sitio. Por lo tanto, no se recomienda la simulación de crecimiento de rodales sin raleo, en especial de rodales no raleados mayores a 7 años.

Como recomendaciones generales, debe tenerse en cuenta que:

- Debería realizarse proyecciones o estimaciones para rangos ubicados dentro de rangos contenidos en la información base para el uso de las funciones. Los

valores límite para la proyección de cada variable se proveen en el Cuadro 2, mientras que los valores límite para el uso de ecuaciones del módulo de trozado se presentan en el Cuadro 4.

- La calidad de la información que se obtiene está condicionada por la calidad de la información ingresada, siendo la información proveniente de inventarios o mediciones confiables aquellas de mayor calidad.
- Las proyecciones resultantes son más precisas cuanto mayor sea la edad inicial (t_1) debido a que: (i) los valores iniciales de las variables de rodal son más afectadas por las condiciones de manejo inicial a edades tempranas y; (ii) a mayor edad inicial, menor es el intervalo de proyección (Methol, 2008, 2006, 2003).

3.2 Usos de la herramienta desarrollada

El sistema desarrollado puede utilizarse tanto en el ámbito empresarial como con fines académicos para una amplia variedad de estudios como las sugeridas por Methol (2008, 2006, 2003):

- Análisis de manejos silviculturales como: densidad de plantación y turno de cosecha, simulando diferentes alternativas y comparando resultados económicos o sensibilidad ante fluctuaciones de precios y/o costos.
- Análisis de inversiones considerando sitios diferentes, estructura de costos (por ejemplo, precio de la tierra y flete), así como diferentes escenarios de precios.
- Puede utilizarse como insumo para modelos de planificación de cosecha, asociado a sistemas de optimización.
- Comparación de sistemas de trozado y selección de aquellos que generen mayores ingresos. Esto puede realizarse en base a proyecciones de rodales jóvenes o en datos reales precosecha.
- Estimación de volúmenes comerciales totales y productos a partir de información de inventarios forestales, con el

fin de estimar flujo total de madera del conjunto de rodales de una unidad de gestión.

- Análisis de sensibilidad que permitan identificar cuáles son los factores de mayor incidencia en la rentabilidad de las plantaciones.
- Estimación de biomasa total (a partir de modelos que estiman biomasa de hojas, ramas y raíces en forma compartimentada utilizando información de fustes), e inventarios de carbono.
- Puede utilizarse en forma conjunta con otros simuladores INIA (*E. grandis*, *E. globulus* y *E. dunnii*) para analizar el uso de la especie más adecuada según rentabilidad para cada sitio en las zonas norte y litoral este.

El modelo también podría potencialmente asociarse a otros tipos de modelos existentes de forma de cubrir vacíos de información. Un ejemplo de esto es la asociación con modelos de tipo fisiológico (que describen los procesos implicados en el crecimiento), lo cual ofrece la ventaja de estimar volúmenes y/o productos de rodales localizados en sitios donde no existe información productiva previa. Este tipo de unión ha sido realizada por ejemplo, utilizando la relación existente entre el incremento medio anual, brindado por el modelo fisiológico, y el índice de sitio provisto por el modelo empírico (Almeida *et al.*, 2003; Battaglia *et al.*, 1999).

Las ecuaciones ajustadas también pueden utilizarse en forma independiente para calcular cualquiera de las variables de interés estudiadas en cálculos correspondientes a inventarios, zonificación de áreas con rodales jóvenes según productividad, o incorporarse a sistemas de información existente en una empresa. Además, podrían también realizarse proyecciones de biomasa total si los modelos se asocian con funciones de biomasa que utilizan DAP y/o altura total ó volumen de fuste.

4. INTRODUCCIÓN AL USO DEL SOFTWARE A TRAVÉS DEL SITIO WEB

La estructura descrita para la estimación del crecimiento, trozado y análisis económico se ha integrado a través de un software que contiene el sistema de gestión desarrollado en lenguaje .Net para ambiente web. El acceso al simulador es gratuito y se realiza a través de la página de INIA: WWW.INIA.UY, donde debe seleccionarse la opción "Alertas y Herramientas" en la ventana "Productos y servicios" y luego "Sistemas de Apoyo a la Gestión Forestal" (Figura 8). Esto puede realizarse desde del navegador de internet que el usuario maneja habitualmente.

Para acceder al sistema debe ingresarse un usuario y una clave de acceso (Figura 9). Para acceder a dicha clave debe crearse un nuevo usuario siguiendo las instrucciones desplegadas al cliquear "Crear nuevo usuario".

Inicialmente, se encontrará la lista de simuladores disponibles para Uruguay y se deberá seleccionar, en este caso la opción "Simulador *Pinus taeda*" (Figura 10). El manejo del simulador se realiza a través de 4 ventanas principales orientadas a: (i) ingreso de datos; (ii) proyección de las variables de interés; (iii) módulo de trozado y (iv) análisis económico. El uso de dichas ventanas se explica a continuación.

4.1 Ingreso de datos

En la primer ventana del simulador, debe ingresarse la información dasométrica inicial requerida por el sistema: edad inicial y final de la proyección, área basal ó diámetro medio, altura media dominante ó índice de sitio, número de árboles por hectárea, DAP máximo y desvío estándar de los DAPs. En el caso de no contar con información real de

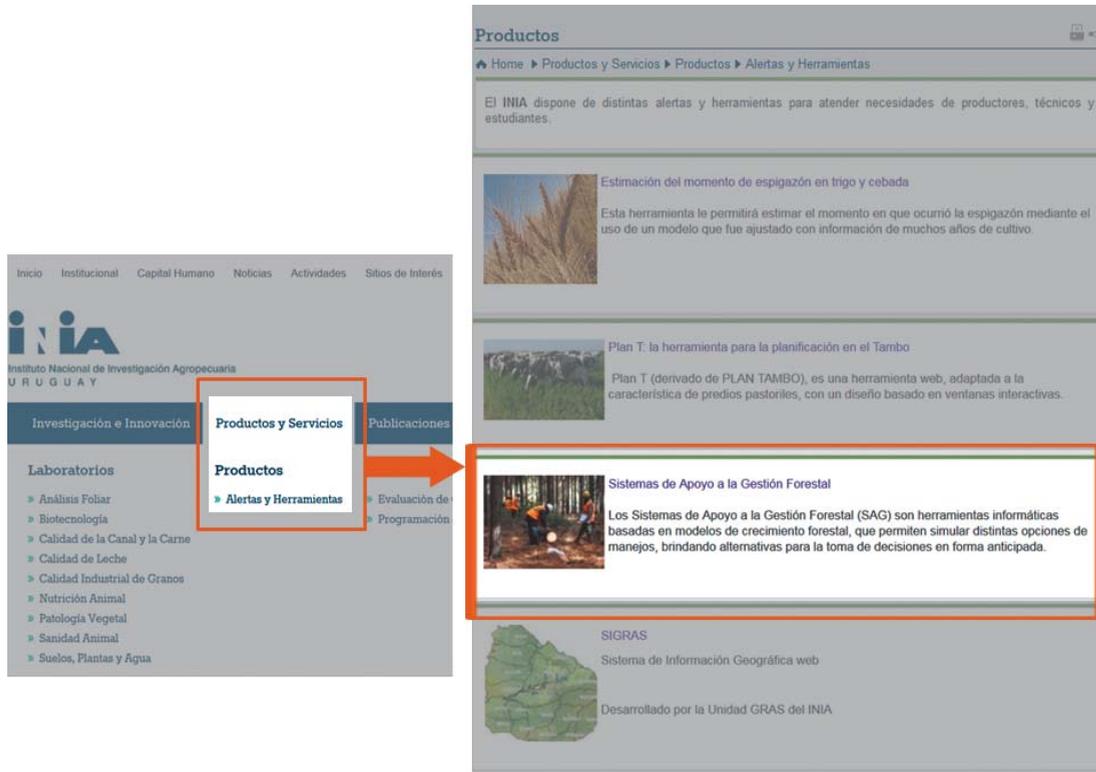


Figura 8. Ingreso a los simuladores forestales mediante la página web de INIA.



Figura 9. Interfase de inicio para ingresar usuario y contraseña.

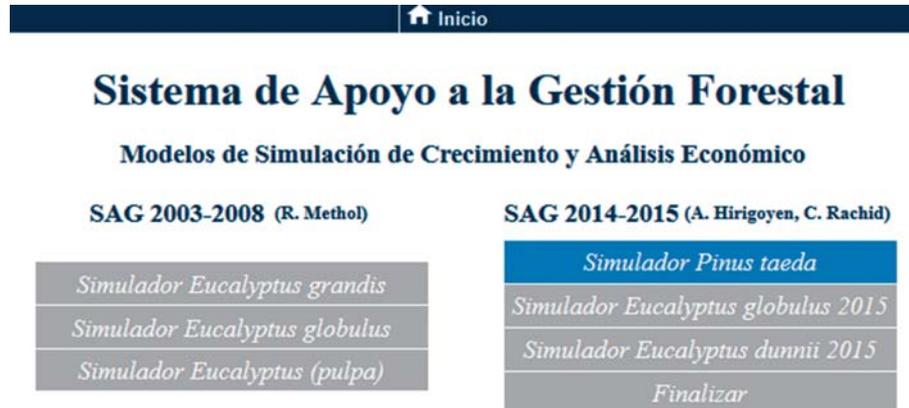


Figura 10. Sistemas de apoyo a la gestión disponibles y selección del simulador para *P. taeda*.

	Edad	Árboles remanentes
1er. Raleo	0,0 años	0 árb/ha
2do. Raleo	0,0 años	0 árb/ha
3er. Raleo	0,0 años	0 árb/ha
4to. Raleo	0,0 años	0 árb/ha

Figura 11. Ingreso de datos iniciales y cálculo de edad inicial.

DAP inicial máximo y desvíos de DAPs, el sistema estimará y llenará automáticamente las casillas correspondientes a partir de las demás variables ingresadas.

Puede calcularse la edad inicial del rodal en fracciones decimales seleccionando el ícono azul a la derecha de "Edad inicial" e ingresando la fecha de plantación y primera medición (Figura 11). Los botones en la base de la ventana permiten ejecutar la simulación, ingresar nuevos datos ó volver a la lista de simuladores a través de la opción "Finalizar".

En la misma ventana, puede agregarse información de hasta 4 raleos si se desea, ingresando la edad y el número de árboles remanentes (Figura 12).

4.2 Proyección

Para ingresar a la pantalla de proyección, el usuario debe seleccionar la opción "Ejecutar simulación". Una vez en la misma, se pueden corroborar los datos ingresados y observar los valores obtenidos para cada variable considerada, además de encontrar el

Simulador *Pinus taeda*

Edad inicial	?	3,2 años		
Edad final	?	16,0 años		Árboles remanentes
Población inicial	?	1.040 árb/ha	1er. Raleo	4,0 años
DAP medio inicial	?	5,90 cm	2do. Raleo	11,0 años
Área basal inicial	?	2,84 m ² /ha	3er. Raleo	0,0 años
Altura media dominante inicial	?	4,40 m	4to. Raleo	0,0 años
Índice de sitio	?	15,31		
DAP máximo inicial	?	8,20 cm		
Desvío estandar inicial DAP	?	1,10 cm		

Ejecutar simulación
Ingresar nuevos datos
Finalizar

Figura 12. Ingreso de información para raleos.

Datos Rodal Ingresados		Datos Para Raleo		Acciones	
Edad inicial	3,0 años	Edad	Árboles remanentes	Ingresar nuevos datos	Generar reporte
Edad final	16,0 años	1er. Raleo	4,0 años	800	Modificar información
Población inicial	1.040 árb/ha	2do. Raleo	11,0 años	450	Distribución diamétrica
DAP medio inicial	5,90 cm	3er. Raleo	0,0 años	0	Graficar IMA vs ICA
Área basal inicial	2,84 m ² /ha	4to. Raleo	0,0 años	0	Finalizar
Altura media dominante inicial	4,40 m	Dist. diamétrica árboles raleados			
Índice de Sitio	15,31 m				
DAP máximo inicial	8,20 cm				
Desvío estandar inicial DAP	1,10 cm				
Trabajar con AMD					

** Incluye Información de Raleo **

Edad	AMD (m)	Población (árb/ha)	AB (m ² /ha)	DAP medio (cm)	DAP max (cm)	Desvío DAP (cm)	Volumen total s.c. (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/año)	ICA (m ³ /ha/año)	Volumen s.c. Raleado (m ³ /ha)	Población Post raleo (árb/ha)	AB Post Raleo (m ² /ha)	DAP Post Raleo (cm)	Volumen s.c. Post Raleo (m ³ /ha)
3,0	4,4	1.040	2,8	5,9	8,2	1,1	12,6	4,2	0,0					
4,0	6,2	991	5,7	8,6	12,3	1,3	27,4	6,9	14,9	4,3	800	4,9	8,8	23,1
5,0	7,9	770	8,0	11,5	15,7	1,5	41,3	9,1	18,1					
6,0	9,6	745	11,5	14,0	18,8	1,7	64,6	11,5	23,4					
7,0	11,2	723	15,2	16,4	21,6	2,0	92,6	13,8	28,0					
8,0	12,6	705	18,9	18,5	24,1	2,2	124,4	16,1	31,8					
9,0	14,0	688	22,6	20,5	26,5	2,4	159,2	18,2	34,7					
10,0	15,3	673	26,2	22,3	28,8	2,6	195,9	20,0	36,7					
11,0	16,5	659	29,6	23,9	30,9	2,8	233,8	21,6	37,9	64,5	450	21,4	24,6	169,3
12,0	17,6	441	24,2	26,4	32,9	3,0	200,7	22,5	31,4					
13,0	18,6	433	26,7	28,0	34,8	3,2	232,3	23,2	31,6					
14,0	19,5	426	29,1	29,5	36,6	3,4	263,5	23,7	31,2					
15,0	20,3	419	31,3	30,9	38,3	3,5	293,9	24,2	30,4					
16,0	21,1	412	33,4	32,1	40,0	3,6	323,1	24,5	29,2					

Figura 13. Pantalla de proyección con los resultados obtenidos y opciones para continuar el análisis.

volumen raleado, el volumen por hectárea, la población anterior y posterior a los raleos, el área basal por hectárea y el DAP medio post raleo (Figura 13). A la derecha pueden encontrarse botones con funciones útiles para: modificar la información ya ingresada, conocer la distribución diamétrica, visualizar gráficas de incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), simular trozados ó generar reportes. Como ejemplo, se muestra la pantalla con información de distribuciones diamétricas por año (Figura 14).

4.3 Módulo de trozado

Al seleccionar la opción "Simular trozado" se accede a la pantalla de trozado para la edad final de simulación. El usuario podrá seleccionar la calidad de troza cambiando el largo y el diámetro mínimo de las mismas, y también la cantidad máxima de trozas de cada categoría por árbol (Figura 15). Pueden definirse hasta 6 categorías de trozas. Para categorizar solamente en trozas

Figura 14. Generación de distribuciones de clases diamétricas para cada año de proyección.

Inicio

Edad Trozado : 16 años.

Troza	Calidad de troza	Diámetro mínimo (cm)	Largo de Troza (m)	Nro de Trozas por árbol	CANTIDAD	Volumen (m3/ha)
1	Aserrable 1 - S/P	35,00	3,00	99	0	0,0
2	Aserrable 2 - S/P	25,00	3,00	99	0	0,0
3	Pulpa	8,00	4,00	99	0	0,0
4	Troza 4	0,00	0,00	0	0	0,0
5	Troza 5	0,00	0,00	0	0	0,0
6	Troza 6	0,00	0,00	0	0	0,0

Altura del tocón **1er Raleo** **2do Raleo**

Calcular trozado de tala rasa **Análisis Económico** **Finalizar**

	Volumen (m3/ha)	%
Trozadas	0,0	0,0
Desperdicio	0,0	0,0
TOTAL	0,0	0

Figura 15. Pantalla de simulación de trozado.

basales, por ejemplo, el límite de trozas por árbol debería ser igual a uno.

Oprimiendo el botón "Calcular trozado de la tala rasa" el sistema calculará el número de trozas y su volumen sin corteza, así como el volumen total sin corteza y porcentajes de volumen aprovechable y desperdiciado, a partir de la altura de tocón ingresada. También se desplegarán, gráficas interactivas a modo de resumen de la información generada (Figura 16). Para simular el trozado de los raleos, deber seleccionarse las opciones

"1er Raleo", "2do Raleo", etc, al pie de la planilla.

4.4 Análisis económico

Desde la pantalla de trozado se accede al módulo de análisis económico seleccionando la opción del mismo nombre. Una vez en dicha pantalla, se deben ingresar primeramente los precios de los productos, así como los costos de flete y cosecha en la planilla superior, y luego oprimir el botón

Edad Trozado : 16 años

Troza	Calidad de troza	Diámetro mínimo (cm)	Largo de Troza (m)	Nro de Trozas por árbol	CANTIDAD	Volumen (m3/ha)
1	Aserrable 1 - S/P	35,00	3,00	99	0	0,0
2	Aserrable 2 - S/P	25,00	3,00	99	458	130,2
3	Pulpa	8,00	4,00	99	1.088	179,1
4	Troza 4	0,00	0,00	0	0	0,0
5	Troza 5	0,00	0,00	0	0	0,0
6	Troza 6	0,00	0,00	0	0	0,0



Altura del tocón 0,20m **1er Raleo** **2do Raleo**

Calcular trozado de tala rasa | **Análisis Económico** | Finalizar

	Volumen (m3/ha)	%
Trozas	309,2	95,7
Desperdicio	14,0	4,3
TOTAL	323,2	100

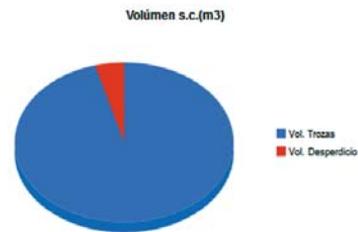


Figura 16. Resultados de la simulación de trozado de la tala rasa.

"Aceptar". Al hacerlo los ingresos netos por cosecha y por raleo aparecen en la planilla inferior, en la cual pueden agregarse otros costos como plantación y mantenimiento, administración, etc., así como otros ingresos como renta por pastoreo, por ejemplo, etc. Para obtener los indicadores económicos Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) basta con oprimir el botón "Realizar cálculos" (Figura 17).

ATENCIÓN: Si se desea modificar valores de costos de cosecha y precios de productos (en la planilla superior), deben eliminarse los valores de ingresos netos por cosecha y raleo de la simulación anterior, seleccionando dichos ítems en la columna "Eliminar?" de la planilla inferior. Luego se pueden cambiar los valores deseados y oprimir el botón de "Aceptar" nuevamente para adjuntar los nuevos ingresos netos al cálculo. De no realizar esta operación, los ingresos anteriores se sumarán a los de la nueva simulación. Finalmente, se oprime "Realizar cálculo" para obtener VAN y TIR.

Si por el contrario, se desea modificar sólo valores de la planilla inferior "Otros costos

e ingresos", no es necesario eliminar ingresos netos de cosecha y raleo anteriores, basta con modificar los valores existentes o agregar nuevos costos/ingresos y oprimir "Realizar cálculos".

4.5 Reportes

La plataforma web permite exportar resultados a planillas electrónicas y también obtener reportes en formato PDF. La información que pueden exportarse a planillas electrónicas es: (i) resultados de proyección de variables de rodal; (ii) planillas de distribución diamétrica; y (iii) resultados de análisis económico. Todas ellas se exportan cliqueando el botón "Generar planilla" en la pantalla correspondiente.

Además se puede obtener informes con información anual de los resultados de la proyección de variables de rodal, así como también al finalizar la simulación en el módulo de análisis económico (Figura 18). Dichos informes en formato .PDF se muestran al seleccionar la opción "Reporte" en la pantalla de interés.

04/06/15 Inicio

Ingresar valores de venta, costo de flete y cosecha

Calidad Troza	Volumen (m3/ha)	Precio (US\$/m3)	Costo flete (US\$/m3)	Costo cosecha (US\$/m3)	
Aserable 1 - S/P	26,69	70,00	7,00	10,00	
Aserable 2 - S/P	204,07	50,00	6,20	10,00	
Pulpa	81,50	40,00	3,00	7,00	
Raleo Año 4.0	4,33	0,00	0,00	0,00	A Pérdida
Raleo Año 11.0	64,47	40,00	0,00	13,00	Comercial

Aceptar

Ingresar otros Costos e Ingresos

Año Ini	Año Fin	Descripción	Valor	Eliminar?
0	16	Tasa de descuento	0,08	<input type="checkbox"/>
0	0	Precio de la tierra (US\$/ha)	600,00	<input type="checkbox"/>
1	16	Costo anual de administración (US\$/ha/año)	100,00	<input type="checkbox"/>
0	0	Costo del establecimiento al año 0 (US\$/ha)	400,00	<input type="checkbox"/>
1	1	Costo de mantenimiento al año 1 (US\$/ha)	120,00	<input type="checkbox"/>
11	11	Ingreso neto por raleo (US\$/ha)	1.740,69	<input type="checkbox"/>
16	16	Ingreso neto por cosecha (US\$/ha)	10.757,14	<input type="checkbox"/>

Agregar Costos Agregar Ingresos

Resultados

Realizar Cálculo Finalizar

VAN US\$ 1.890,21 TIR 14,01 %

Reporte (pdf)
Generar Planilla

20

Figura 17. Módulo económico: ingreso de costos y beneficios.

Reporte SAG Versión 1.0 Proyecciones de crecimiento y Raleos
 DATOS INGRESADOS: *Pinus taeda*

Fecha Plantación: Fecha Medición: Edad Inicial 3,0 Edad Final 16,0
 Pob Inicial (árbs/ha) 1.040 Altura Media Dominante (m) 4,40 Área Basal (m2/ha) 2,84 Índice de Sitio 15,31

Edad	AMD (m)	Población (árbs/ha)	Área Basal (m2/ha)	DAP medio (cm)	Volumen (m3/ha)	IMA (m3/ha/año)	ICA (m3/ha/año)	Información Post Raleo		
								Vol Raleado (m3/ha)	Área Basal (m2/ha)	Árboles remanentes
3,0	4,4	1.040	2,8	5,9	12,6	4,2	0,0			
4,0	6,2	991	5,7	8,6	27,4	6,9	14,9	4,3	4,9	800
5,0	7,9	770	8,0	11,5	41,3	9,1	18,1			
6,0	9,8	745	11,5	14,0	64,6	11,5	23,4			
7,0	11,2	723	15,2	16,4	92,6	13,8	28,0			
8,0	12,6	705	18,9	18,5	124,4	16,1	31,8			
9,0	14,0	688	22,6	20,5	169,2	18,2	34,7			
10,0	15,3	673	26,2	22,3	195,9	20,0	36,7			
11,0	16,5	659	29,6	23,9	233,8	21,6	37,9	64,5	21,4	450
12,0	17,6	441	24,2	26,4	200,7	22,5	31,4			
13,0	18,6	433	26,7	28,0	232,3	23,2	31,6			
14,0	19,5	426	29,1	29,5	263,5	23,7	31,2			
15,0	20,3	419	31,3	30,9	293,9	24,2	30,4			
16,0	21,1	412	33,4	32,1	323,1	24,5	29,2			

Reporte SAG Versión 1.0-MODULO ANALISIS ECONOMICO - Detallado
 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) 0

Año	Costo	Flujo Neto Año	Valor
Año 10	Costo anual de administración (US\$/ha/año)	Flujo Neto Año 9	-US\$ 100,00
			US\$ 100,00
Año 11	Costo anual de administración (US\$/ha/año)	Flujo Neto Año 10	-US\$ 100,00
Año 11	Ingreso neto por raleo (US\$/ha)		US\$ 1.740,69
		Flujo Neto Año 11	US\$ 1.640,69
Año 12	Costo anual de administración (US\$/ha/año)		US\$ 100,00
		Flujo Neto Año 12	-US\$ 100,00
Año 13	Costo anual de administración (US\$/ha/año)		US\$ 100,00
		Flujo Neto Año 13	-US\$ 100,00
Año 14	Costo anual de administración (US\$/ha/año)		US\$ 100,00
		Flujo Neto Año 14	-US\$ 100,00
Año 15	Costo anual de administración (US\$/ha/año)		US\$ 100,00
		Flujo Neto Año 15	-US\$ 100,00
Año 16	Costo anual de administración (US\$/ha/año)		US\$ 100,00
Año 16	Ingreso neto por cosecha (US\$/ha)		US\$ 10.757,14
		Flujo Neto Año 16	US\$ 10.657,14

Valor Actual Neto (VAN) US\$ 1.890,21

Figura 18. Reportes de proyecciones de crecimiento y análisis económico en formato PDF.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Todas las herramientas que conforman los sistemas de apoyo a la gestión requieren actualizaciones permanentes. En el caso de los modelos de crecimiento, las actualizaciones deben considerar la variedad de materiales genéticos utilizados así como también variedad de manejos, sitios, madurez de los rodales, etc. Por otro lado, se busca que el sistema cubran las necesidades de información de los usuarios en formatos prácticos.

De forma de atender ambos aspectos, el Programa Forestal ha incrementado su red de ensayos y también viene trabajado en forma estrecha con empresas del sector privado, no sólo para el aporte de información sino también para la colaboración en la mejora de la estructura y funcionamiento del sistema.

Dada la importancia del trabajo conjunto con usuarios, la plataforma web permite a INIA mantener una comunicación fluida con los mismos para el intercambio de información, consultas, etc. De la misma forma, el uso de la plataforma web permite la disponibilidad inmediata de las actualizaciones y mejoras que se realicen en las aplicaciones, lo cual representa una ventaja en cuanto a las políticas de distribución de actualizaciones, liberando al usuario de gestiones relacionadas a la obtención de versiones actualizadas y/o compatibles.

6. AGRADECIMIENTOS

A las empresas Cloverly SA, Bosques del Sur SA y Global Forest Partners por su generosa colaboración a través de datos para el presente trabajo. A las empresas Cambium y Terrasys por su colaboración. A Pablo Tarigo y Daniel Ramirez, por su apoyo continuo en la coordinación de esfuerzos para el desarrollo y prueba de los modelos. A Fernanda Romero, Jonathan Diaz, Dan Guapará, Barry Vaughan, Mariana Lobel, Martha Thamosiunas y Miguel Oñate por su valiosa colaboración en la mejora de la herramienta a través del feedback proporcionado. A Santiago Ferrando por su apoyo en las

etapas iniciales de este proyecto y a Gustavo Balmelli por su apoyo en la revisión de errores y sugerencias en la visualización. A Adriana Bussoni por su colaboración en la etapa de programación del módulo de análisis económico.

7. REFERENCIAS

- ALMEIDA, A.C.; MAESTRI, R.; LANDSBERG, J.J.; SCOLFORO, J.R.S.** 2003. Linking process-based and empirical forest models in Eucalyptus plantations in Brazil, En: Amaro, A.; Reed, D.; Soares, P. (eds.). Modelling forest systems. Wallingford, Oxon: CABI International. 63-74 p.
- BATTAGLIA, M.; SANDS, P.; CANDY, S.** 1999. Hybrid growth model to predict height and volume growth in young *Eucalyptus globulus* plantations. For. Ecol. Manag., 120: 193-201.
- BETTINGER, P.; BOSTON, K.; SIRY, J.; GREBNER, D.** 2009. Forest management and planning. San Diego: Elsevier. 331 p.
- BROOKS, J.R.; JIANG, L.; OZÇELIK, R.** 2008. Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. For. Ecol. Manag., 256: 147-151.
- CATTANEO, M.; METHOL, R.** 2004. Desarrollo de una raza local de *Pinus taeda*: avances en investigación, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. 50 p. (Serie Técnica; 146).
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY R.L.** 1983. Timber management: a quantitative approach. New York: Wiley & Sons. p 333.
- GARCÍA, O.** 1998. Estimating top height with variable plot sizes. Can. J. For. Res., 28: 1509-1517.
- GARCÍA, O.** 1981. Simplified method-of-moments estimation for the Weibull distribution. N. Z. J. For. Sci., 11: 304-306.
- HIRIGOYEN, A.; RACHID, A.C.** 2014. Selección de funciones de distribución de frecuencia diamétricas para *Pinus taeda*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunnii* en Uruguay. Bosque, 35: 369-376.
- MARTIN, A.J.** 1981. Taper and volume equations for selected Appalachian

- hardwood species. Research paper NE-490. USDA Forest Service, USA. 22 p.
- MAX, T.; BURKHART, H.** 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *For. Sci.*, 22: 283-289.
- METHOL, R.** 2008. SAG Eucalyptus: Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones orientadas a la producción de celulosa en Uruguay. Montevideo: INIA. 26 p. + 1dvd. (Serie Técnica; 173).
- METHOL, R.** 2006. SAG globulus: Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. Montevideo: INIA. 34 p. + 1dvd. (Serie Técnica; 158)
- METHOL, R.** 2003. SAG grandis: Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de *Eucalyptus grandis*. Montevideo: INIA. 42 p. + 1dvd. (Serie Técnica; 131)
- METHOL, R.** 2001. Comparisons of approaches to modelling tree taper, stand structure and stand dynamics in forest plantations. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. Christchurch, 298 p.
- METHOL, R.; RESQUIN, F.** 2001. Evaluación de procedencias de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* al quinto año. En: Bennadji, Z. (ed.) Seminario de actualización en tecnologías forestales para areniscas de Tacuarembó y Rivera, INIA Tacuarembó., p. 97-101. Montevideo: INIA. (Serie Técnica; 123).
- RACHID, C. C.; MASON, E.G.; WOOLLONS, R.C.; RESQUIN, F.** 2014. Volume and taper equations for *P. taeda* (L) and *E. grandis* (Hill ex. Maiden). *Agrociencia*. 18:47-60.
- RESQUIN, F.** 2004. Resultados de ensayos de especies y fuentes de semilla de *Pinus*. En: Mejoramiento genético, calidad de la madera y tendencias de mercado de *Pinus taeda*: Seminario de actualización técnica, INIA Tacuarembó. p. 1-21. Montevideo: INIA. (Serie Actividades de Difusión; 389).
- SORRENTINO, A.** 1992. Proyecto: Índices de sitio, volumetría y crecimiento de pinos y eucaliptos en el Uruguay. Informe final: Documento completo. (Consultoría). Montevideo: MGAP; Dirección Forestal. 228 p.

INIA Dirección Nacional

Andes 1365, P. 12
Montevideo
Tel.: 598 2902 0550
Fax: 598 2902 3633
iniadn@dn.inia.org.uy

INIA La Estanzuela

Ruta 50, Km 11
Colonia
Tel.: 598 4574 8000
Fax: 598 4574 8012
iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas

Ruta 48, Km 10
Canelones
Tel.: 598 2367 7641
Fax: 598 2367 7609
inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande

Camino al Terrible
Salto
Tel.: 598 4733 5156
Fax: 598 4732 9624
inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó

Ruta 5, Km 386
Tacuarembó
Tel.: 598 4632 2407
Fax: 598 4632 3969
iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres

Ruta 8, Km 281
Treinta y Tres
Tel.: 598 4452 2023
Fax: 598 4452 5701
iniatt@tyt.inia.org.uy

www.inia.uy