

Modelo de crecimiento para *E. globulus* en Uruguay

Ing. Agr. Ricardo Methol

Convenio INIA – Forestal Oriental



Temario

- Introducción
- Modelo de crecimiento para *E. globulus* en Uruguay
- SAG *globulus*
- Consideraciones finales

2

Introducción

- Importancia de *E. globulus* en el Uruguay
- Localización de las plantaciones
- Importancia de disponer de modelos de crecimientos para esta especie
 - mejorar la gestión a nivel de rodal / empresa
 - estimaciones de disponibilidad de madera

3

Modelo de crecimiento para *E. globulus* en Uruguay

- Modelo empírico de rodal.
- Desarrollado a partir de datos de ensayos de INIA y de parcelas permanentes comerciales.
- Base de datos utilizada presenta algunas limitaciones (cobertura).
- Previo a su uso extensivo debería evaluarse para las condiciones en que se usará

4

Componentes del modelo

Tres componentes:

1. Modelo de rodal
2. Generación de distribuciones diamétricas
3. Simulación de trozado

5

1. Modelo de rodal

- 1.1 Ecuación de altura dominante
- 1.2 Ecuación de área basal
- 1.3 Ecuación de número de árboles vivos / ha (mortalidad)
- 1.4 Ecuación de volumen total
- 1.5 Ecuaciones de volúmenes comerciales

6

1.1 Altura dominante

- Altura promedio de los 100 arb/ha de mayor DAP
- Ecuación de proyección de altura dominante

$$H_{dom(t)} = f(H_{dom(t_0)}, t_0, t, Z)$$

- Índice de sitio

$$IS = f(H_{dom(t_0)}, t_0, \mathbf{g}, Z)$$

7

Ecuación de altura dominante

$$AD_{(t)} = f(AD_{(t_0)}, t_0, t, Z)$$

1.2 Area Basal

Ecuación de proyección de área basal (AB):

$$AB_t = f(AB_0, t_0, t, N_0, IS)$$

8

1.3 Supervivencia / Mortalidad (N)

Ecuación de proyección del número de árboles vivos por hectárea:

$$N_t = f(N_0, t_0, t, IS)$$

10

1.4 Volumen total por hectárea (V)

- No es una ecuación de proyección
- Se basa en los valores proyectados de AD, AB y N
- $V = f(AD, AB, N)$

11

1.5 Volúmenes comerciales

- Para diámetros límite de 5 cm y 8 cm
- 1º se estima la proporción que representa el volumen comercial a 5 cm (V5) respecto al volumen total (VT)
- Luego se estima la proporción que representa el V8 respecto al V5
- Esto asegura consistencia en las estimaciones: $V8 < V5 < VT$

12

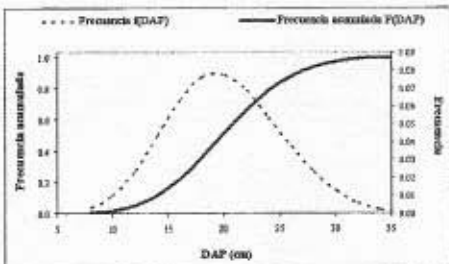
2. Distribuciones diamétricas

- Funciones de probabilidad de distribución (por ej. distribución Normal)
- Distribución Weibull (invertida)
- Variables requeridas:
 - DAP medio
 - DAP máximo
 - desvío estándar de los DAPs

12

Ejemplo de distribución diamétrica generada con la distribución Weibull

DAP medio = 20 / DAP máximo = 40 / Desvío estándar = 5



Estimación de variables para generar distribuciones diamétricas

2.1 DAP medio:

$$D_g = \sqrt{\frac{4AB}{\pi N}} * 100$$

... asegura la compatibilidad entre las variables de rodal y la distribución diamétrica generada

15

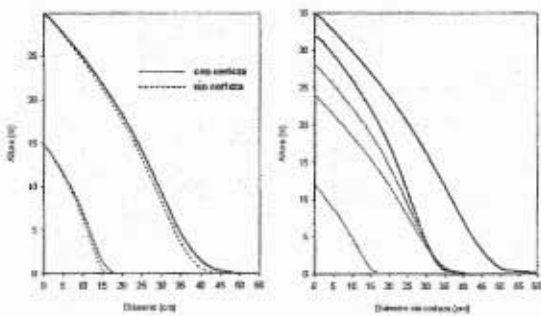
Estimación de variables para generar distribuciones diamétricas

- 2.2 Ecuación de proyección del DAP máximo
- 2.3 Ecuación de proyección del desvío estándar de los DAPs

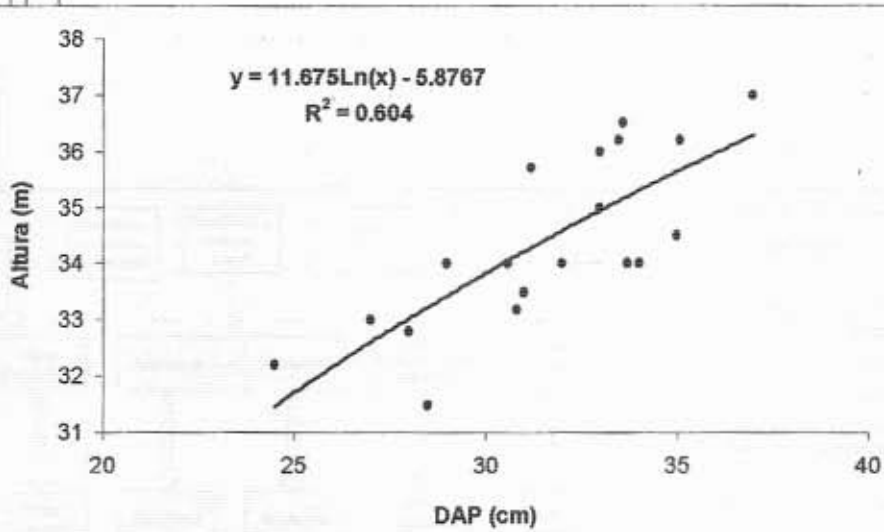
3. Simulador de trozado

- 3.1 Función de ahusamiento
 $d = f(\text{DAP}, H, h)$
datos de árboles apeados (factor de forma)
- 3.2 Ecuación $H=f(\text{DAP})$
- 3.3 Algoritmo para ir asignando cada troza a la categoría que corresponda (programación)

3.1 Función de ahusamiento



3.2 Ecuación Altura - DAP



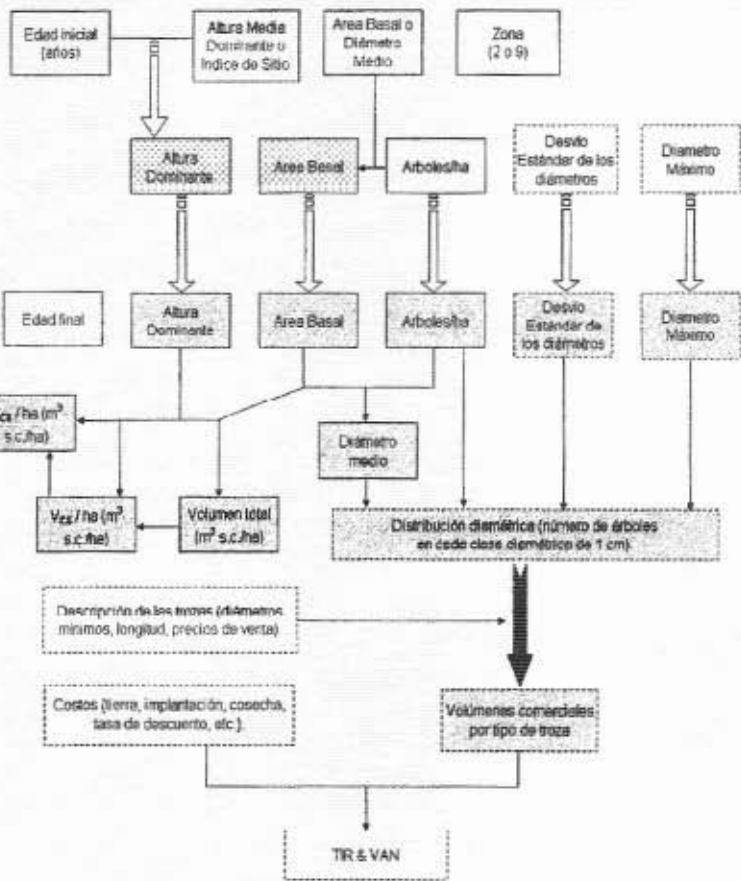
19

SAG globulus

1. Modelo de rodal
 - +
 2. Distribuciones diamétricas
 - +
 3. Simulación de trozado
 - +
 4. Análisis económico
 - +
 5. Programación (VBA - Excel)
- } Modelo de crecimiento

SAG globulus

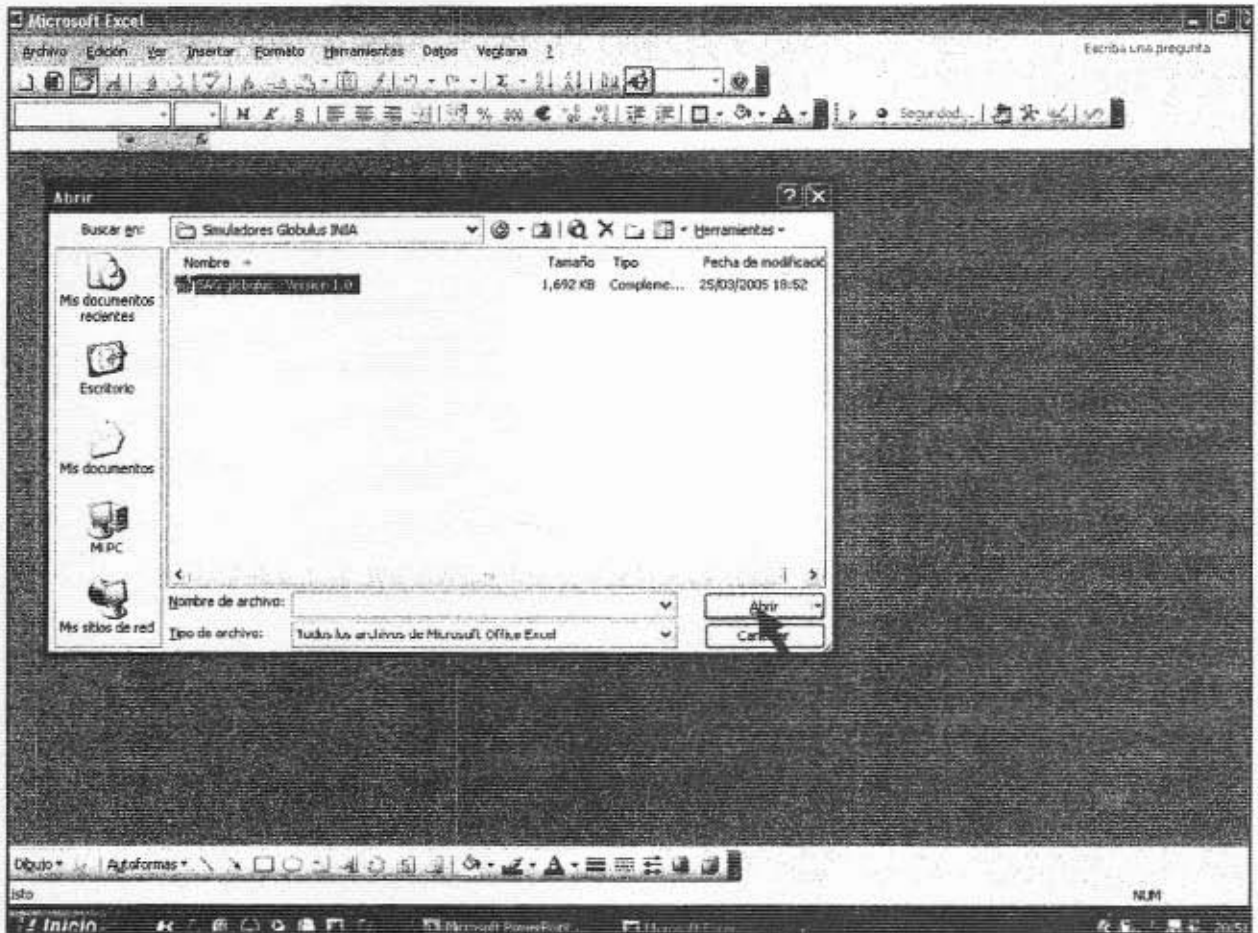
20

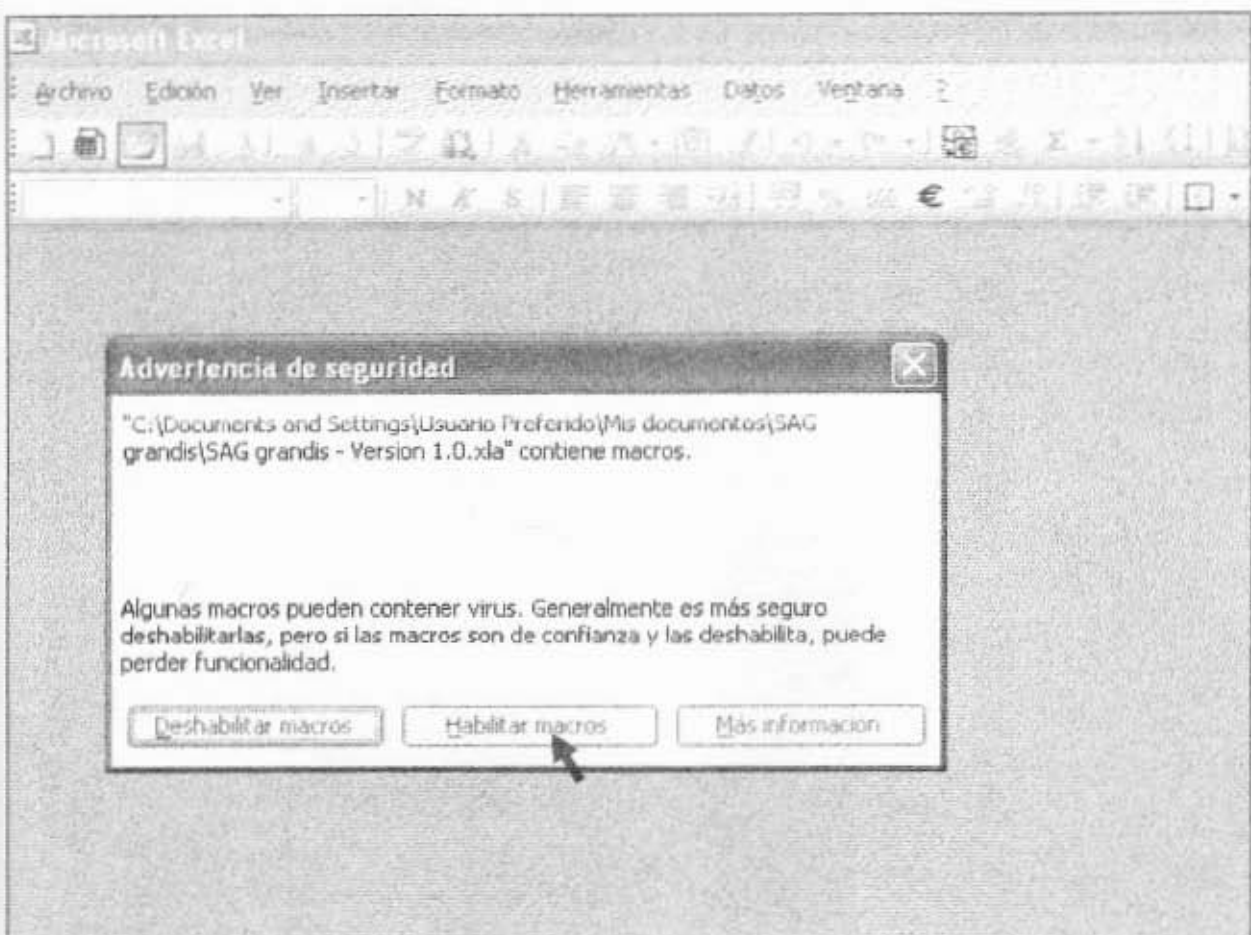


Referencias

Input requerido	Output
Input opcional	Output opcional
Input derivado de otros inputs o fue ingresado directamente	

Ecuaciones de proyección
 Función de abasamiento
 Otras relaciones de dependencia





Archivo Edición Ver Imprimir Formato Herramientas Datos Ventanas

rodal2

S 938 A 3

INIA SAG globulus - Módulo Rodal1
Proyecciones de crecimiento, simulaciones de trozado y análisis económicos

Edad
Identificación de parcela
Zona
Indice de sitio
Aparición (m²/ha)
Población (arb/ha)

AMD Población
Edad (m) (arb/ha)

Datos opcionales
13
9
Desv. St.
APs (cm)

SAG globulus - Versión 1.0

Sistema de Apoyo a la Gestión para proyecciones de crecimiento en el fomento y el control de la explotación forestal. Versión 1.0

Modelización y programación:
Ing. Agr. Ricardo Methol, Ph.D.
Programa Nacional Forestal
Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Para los usuarios principiantes de SAG globulus se recomienda comenzar consultando la ayuda.

Ayuda OK

arbol \rodal1 \rodal2 \ volúmenes por trozo / Resumen económico /

Inicio

Microsoft Excel - Libro5

Archivo Edición Formato Herramientas Datos Seguridad

rodal1 Ejecutar Obtener edad Separador de decimales

SAG globulus - Módulo Rodal1

Proyecciones de crecimiento, simulaciones de trozado y análisis económicos.

Edad: 3

Identificación de parcela: demo

Zona: 2

Área de base (m²/ha): 250

Área basal (m²/ha): 5.1

Población (arb/ha): 850

Datos requeridos: Datos opcionales:

Edad final: 10

DAP máximo (cm): 13

Desvío estándar de DAPs: 3

Edad	AMD (m)	Población (arb/ha)	A.R. (m³/ha)	DAP medio (cm)	Vol. s.c. (m³/ha)	IMA vol (m³/ha/año)	ICA vol (m³/ha/año)	Vol. comerc. hasta 5 cm	Vol. comerc. hasta 8 cm	DAP max (cm)	Desv. St. BAPs (cm)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

H:\arbol\rodal1\rodal1\ Volumenes por trozo / Resumen económico /

Inicio

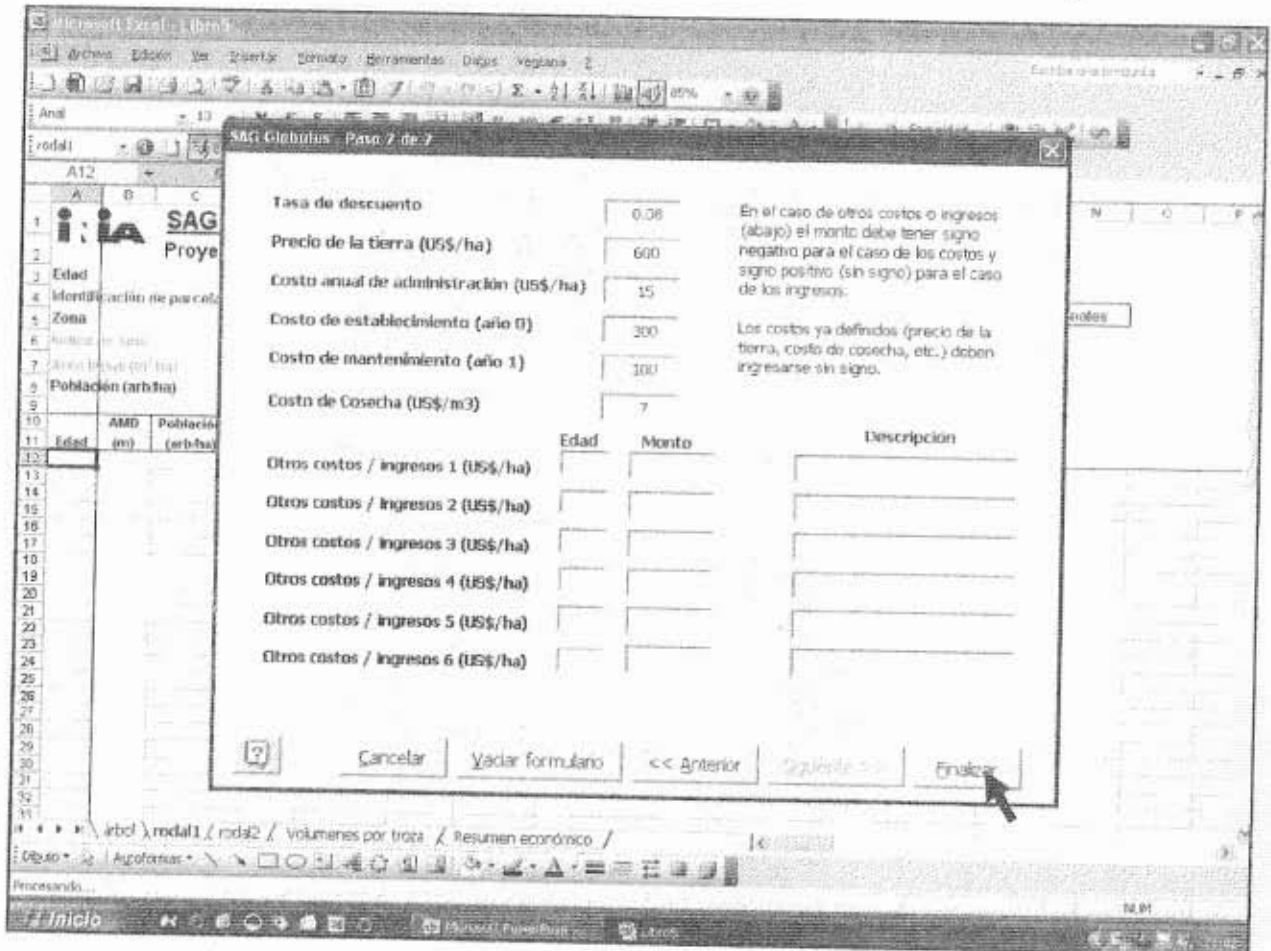
Modal dialog box titled "Módulo de datos Paso 1 de 2".

Descripción	Díámetro máximo (cm)	Largo de la toza (m)	Precio (USD/m ³)	Flete (USD/m ³)
1 Nopal	5	2.4	30	6
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Hacer tozado Altura de tozado(m): 0.3

Hacer análisis económico Mostrar distribuciones diamétricas

Buttons: [?] Cancelar Volver formulario Siguiente >> Finalizar



Microsoft Excel - Libro5

Archivo Edición Formato Herramientas Datos Ventana Ayuda

rodal1

030

SAG globulus - Módulo Rodal1

Proyecciones de crecimiento, simulaciones de trozado y análisis económicos.

Edad: 3

Identificación de parcela: demo

Zona: 2

Superficie (arb/ha): 70

Área total (arb/ha): 850

Edad final: 10

Datos requeridos: (los de los 2 años consecutivos)

Datos opcionales:

DAP máximo (cm): 13

Desv. estándar de DAPs: 3

VAN: 795.5

TIR: 14.4%

Edad	AMD (m)	Población (arb/ha)	A.R. (m ² /ha)	DAP medio (cm)	Vol. s.c. (m ³ /ha)	DMA vol. (m ³ /ha/año)	ICA vol. (m ³ /ha/año)	Vol. comerc. hasta 5 cm	Vol. comerc. hasta 8 cm	DAP max (cm)	Desv. St. DAPs (cm)
3	11.0	850	5.1	8.7	20.6	6.9	13.9	6.4	13.0	3.0	
4	13.4	839	8.0	11.1	39.2	9.8	19.6	21.4	16.5	3.4	
5	15.4	828	10.7	12.9	59.6	11.9	20.3	51.1	40.2	19.4	3.7
6	17.3	797	13.1	14.5	80.5	13.4	21.1	71.8	60.8	21.7	4.0
7	18.7	772	15.3	15.9	101.7	14.5	21.2	92.8	82	23.7	4.2
8	20.0	747	17.3	17.2	122.7	15.3	21	113.7	103.2	25.3	4.3
9	21.2	722	19.1	18.4	143.3	15.9	20.5	134.1	124.2	26.0	4.4
10	22.3	698	20.8	19.5	163.2	16.3	19.5	154	144.5	27.6	4.5

Inicio

Inicio

Microsoft Excel - Libro5

Archivo Edición Formato Insertar Formato Herramientas Datos Hojas 2

Formato personalizado

Anal 10 100 % 100

Volúmenes - VPT_plot - demo

Planilla de resultados: Volúmenes comerciales por tipo de troza

Parcela: demo Altura tocón (m): 0.50

Edad inicial: 3.00

Edad final: 10 Costo cosecha, m³/ha (Modulo Arbol): 7.0

Proviene del módulo: Roda1

Prioridad	Tipo de troza	Diámetro mín. s.c. (cm)	Longitud (m)	Precio (US\$/m ³)	Flete (US\$/m ³)	Cosecha final			
						Total de trozas/ha	Volumen medio/troza	Vol. total m ³ /ha h.c.	%
1	Pulpa	8.0	2.4	30.0	6.0	3329	0.043	144.9	88.8
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
Desperdicio								18.3	11.2
Total						3329	0.043	163.2	100.0

H:\abcd\roda1\roda2\Volúmenes por troza\Resumen económico /

Inicio

i:ia		Planilla resumen con indicadores de resultado económico		
Parcela	demo	N inicial (árboles/ha)	050	
Edad inicial	3.00	Area Basal inicial (m2/ha)	5.10	
Edad final	10.00	Indice de sitio	20.0	
Nota: los valores en las celdas celestes se cargarán en el Asistente del Módulo ProDefi (donde podrán ser modificados)				
7 Costos generales (US\$/ha)				
8 Tasa de descuento				8.0%
9 Precio de la tierra (US\$/ha)				000
10 Costo anual de administración (US\$/ha/año)				15
11 Costo de establecimiento (año 0)				300
12 Costo de mantenimiento (año 1)				100
13 Costo de cosecha (US\$/m ³)				7
14 Otros costos o ingresos (US\$/ha)				
15 Edad	Descripción	US\$/ha		
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22 VAN (US\$/ha)	795.5		TIR	14.4%

Microsoft Excel - libro5

Archivo Editar Formato Fuente Herramientas Datos Ventana Ayuda

Arbol

Arbol | Obtener edad | Separado de decimales

SAG globulus - Módulo Arbol

Estimador de variables de rodal a partir de datos de árboles individuales

Parcela	demo	Área de Sitio	22
Zona	2	Área de parcela (m ²)	500
Edad	11.0	Frecuencia (arb/ha que representa cada arbol)	16.7

Datos requeridos Datos opcionales
 Se completa con los 7 de
 altura y diámetro.

Arbol No.	Arbol ID	BAP (cm)	Altura (m)	Código (valor 0 a 999)	Vol s.c. (m ³ /arbol)	Vol s.n. (m ³ /ha)
10		27.7				
11		56				
12		100				
13		53				
14		104				
15		11				
16		72				
17		107				
18		51				
19		125				
20		20				
21		150				
22		15				
23		152				
24		174				
25		273				
26		239				
27		155				
28		153				
29		102				
30		143				
31		105				
32		171				
33		110				
34		250				

Inicio

SAG gloibus: Módulo Arbol: Especificación de Trozado

Orden	Descripción	Diámetro mínimo (cm)	Largo de la troza (m)	Precio (US\$/m3)	Pieler (US\$/m3)
1	Papa	8	2.4	30	6
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Altura de tocón(m): Costo de cosecha (US\$/m3)

Parcela: demo
Zona: 2
Edad: 11.0

Arbol No. Arbol ID BAP (cm)

Inicio

Microsoft Excel - Libro5

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana Z

Arbol - 10 - N A S | 85% | Seguridad

Arbol - Ejecutar Obtener edad Separador de decimales

O78

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	SAG globulus - Módulo Árbol										
2	Estimador de variables de rodal a partir de datos de árboles individuales										
3	Parcela	demo	AMD (m)				o Índice de Sitio	22		Datos	
4	Zona	2				Area de parcela (m ²)	600		No. de		quité
5	Edad	11.0				Frecuencia (arb/ha que representa cada arbol)	16.7				
6	Arbol	Arbol	DAP	Altura	Código	Vol s.c.	Vol s.c.				
9	Nro.	ID	(cm)	(m)	(vacío, D o DM)	(m ³ /arbol)	(m ³ /ha)				
55	46		5.3	8		0.008	0.1				
56	47		11.6	16.5		0.071	1.2				
57	48			7.2		0.008	0.1				
58	49		22.4	24.7		0.364	6.1				
59	50		15.7	20.2		0.15	2.5				
60	51		19.2	22.8		0.25	4.2				
61	52		22.3	24.9		0.375	6.3				
62	53		6.7	8.1		0.007	0.2				
63	Total / promedio		15	18.5		0.177	150.3				
64	Area Basal (m2/ha)		16.4								
65	DMD / AMD		25.2	25.4							
66	Incrém. Medio Anual		2.3	2.3			14.2				
67	Valor máximo		27.7	27.3							
68	Desvío estándar		6.4	5.91							
69	Arboles / ha		583								
70	Volumen comercial hasta 5 cm (m3/ha)						145.3				
71	Volumen comercial hasta 8 cm (m3/ha)						134.5				
72											

Microsoft Excel - Libro5

Archivo Editar Ver Inserta Formato Herramientas Datos Ventana

Formato de celdas: 35%

Seguridad

Volúmenes

K28

Planilla de resultados: Volúmenes comerciales por tipo de troza

Parcela: demo Altura toción (m): 0.30

Edad inicial: 11.00

Edad final: Costo cosecha, m³/ha (Módulo Arbol): 7.0

Protección del módulo: Arbol

Prioridad	Tipo de troza	Diámetro mm, s.c. (cm)	Longitud (m)	Precio (US\$/m ³)	Peso (US\$/m ³)	Cosecha final				Ingresos del módulo Arbol (US\$/ha)			
						Total de trozas/ha	Volúmenes medio/troza m ³ /ha (s.c.)	Vol. total m ³	%	Ingreso bruto	Costos cosecha	Costos fijos	Ingreso neto
1	Fueta	8.0	2.4	30.0	6.0	3263	0.041	134.6	85.2	4043	943	809	2291
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
Desperdicio								21.5	13.8				
Total						3263	0.041	156.1	100.0	4043	943	809	2291

Módulo "Arbol" permite:

- Calcular diversas estadísticas de rodal que se requieren en "Rodal 1"
- Previo a la cosecha: estimar volúmenes comerciales por tipo de troza y comparar sistemas de trozado alternativos



Herramientas disponibles en cada módulo

Módulo	Herramientas		
	Modelo de crecimiento	Simulador de trozado	Análisis económico
Rodal1	X	X	X
Rodal2	X	O	
Arbol		X	O

Ejemplos - análisis del comportamiento del sistema utilizando el Módulo Rodal 1

Comparación de 6 situaciones:

Datos Iniciales				Situación	Escenarios	
Zona	Edad	AB	N		IS	Edad
2	3	5.1	900	1	18	8
2	3	5.1	900	2	18	10
2	3	5.1	900	3	18	12
2	3	5.1	900	4	22	8
2	3	5.1	900	5	22	10
2	3	5.1	900	6	22	12

Volúmenes y DAP a la cosecha

Situación	Escenarios		VT	V8	V8	DAP medio
	IS	Edad				
1	18	8	106	96	66	23.9
2	18	10	142	132	122	26.2
3	18	12	178	166	157	27.7
4	22	8	140	131	120	25.8
5	22	10	185	178	166	28.5
6	22	12	226	217	208	30.3

- Al aumentar el índice de sitio o la edad de cosecha aumentan los volúmenes comerciales y el DAP medio.

40

Costos asumidos

Concepto	Unidad	Valor (USD)
Precio de la tierra	ha	600
Costo de plantación	ha	300
Costo de limpieza el año	ha	100
Costo de administración	ha/año	15
Costo de venta de la madera	m ³	28
Costo de cosecha	m ³	7
Costo de flete	m ³	7
Tasa de descuento	%	8

41

Indicadores económicos

Situación	Diámetro límite = 8 cm			
	Ingreso bruto	Cosecha y flete	Ingreso neto (USD/ha)	TIR (%)
1	2,394	1,283	1,112	206 10.5%
2	3,422	1,794	1,626	372 11.4%
3	4,404	2,288	2,117	648 11.3%
4	3,352	1,781	1,580	588 14.4%
5	4,540	2,405	2,134	789 14.3%
6	5,913	2,882	3,021	895 13.8%

Situación	Diámetro límite = 9 cm			
	Ingreso bruto	Cosecha y flete	Ingreso neto (USD/ha)	TIR (%)
1	2,895	1,358	1,538	338 11.8%
2	3,702	1,868	1,836	489 12.1%
3	4,858	2,351	2,508	519 11.7%
4	3,680	1,840	1,839	728 15.5%
5	4,825	2,475	2,444	893 15.0%
6	6,082	3,054	3,028	941 14.2%

42

Otras comparaciones posibles

- Mayor rango de sitios (IS)
- Distintas densidades de plantación
- Distintos materiales genéticos?
- Efecto a largo plazo de distintos tipos de silvicultura inicial
- Incidencia relativa de los distintos costos