



Planificación silvícola

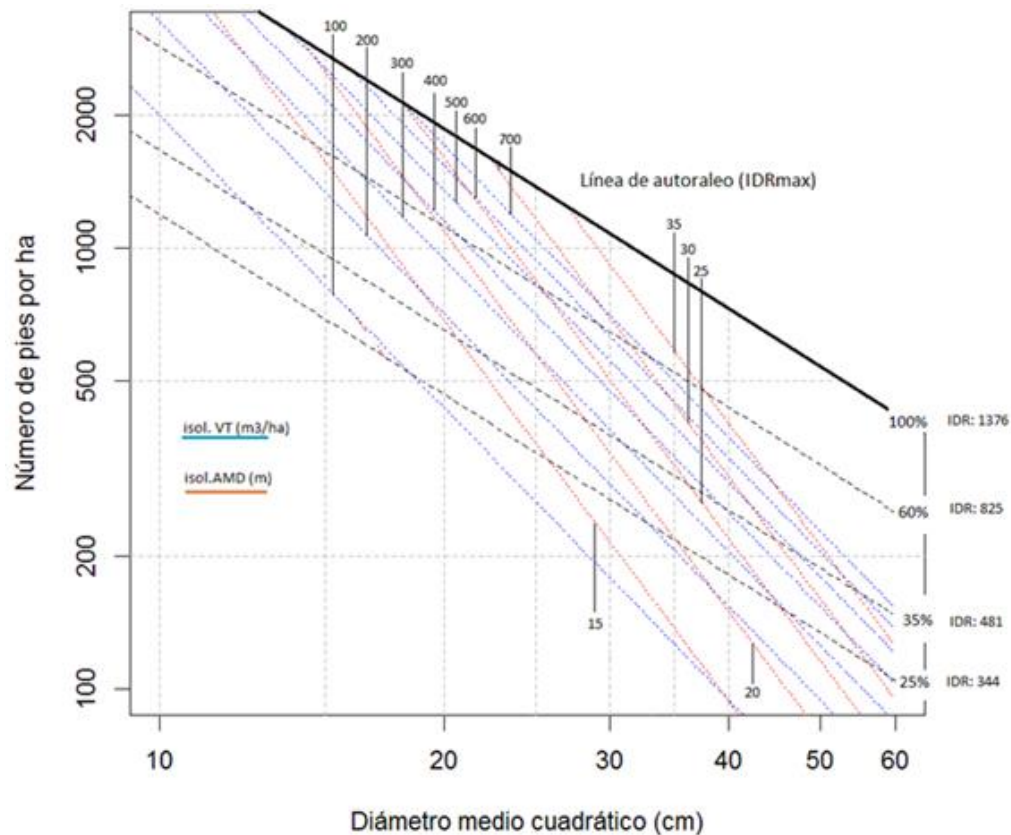
Modelos de **crecimiento y producción**

Para la clase de hoy

- Descripción de diferentes modelos de rendimiento.
- Algunos ejemplos de aplicación.
- Simulador Forestal PLAFORNEA.

Metodologías para la determinación del rodal objetivo

- Diagramas de manejo de la densidad (DMD)
- Metodología de **serie mínima** para el manejo de rodales disetáneos
- **Modelos** de producción o rendimiento



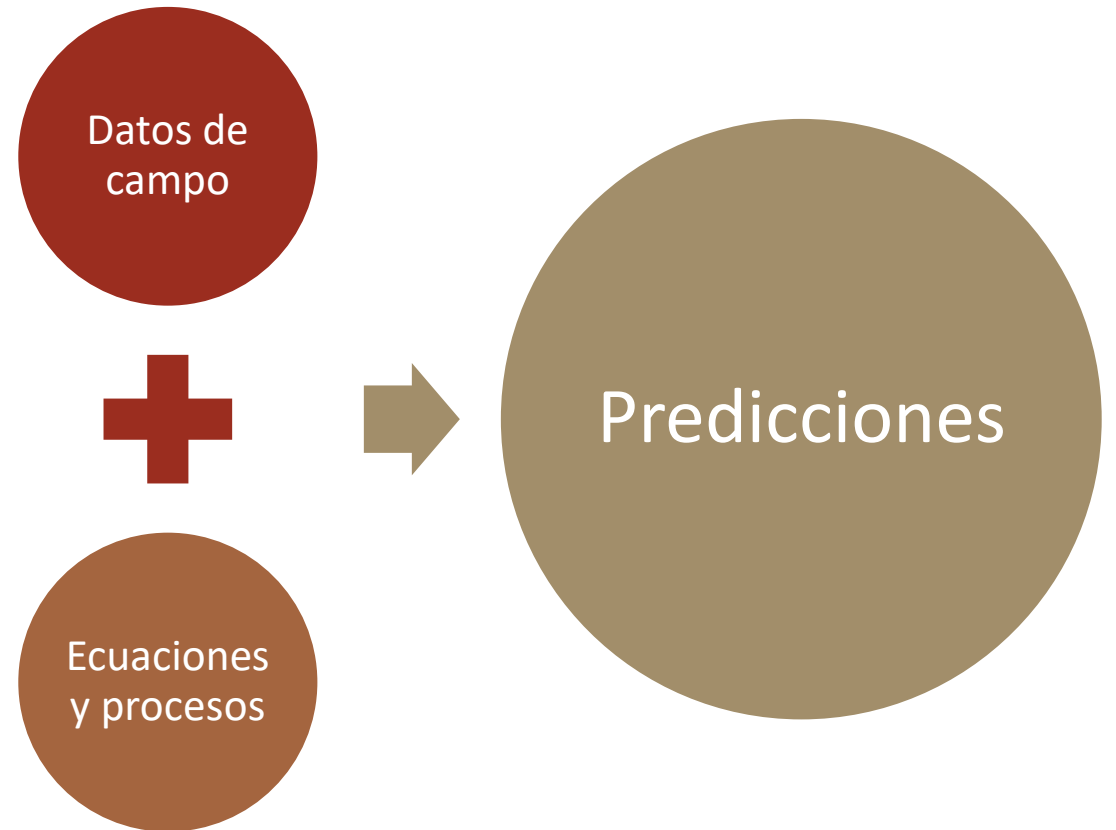
1. Estructura actual				
Clase de DAP (cm)	Altura media (m)	N (ind/ha)	Área basal (m ² /ha)	Volumen total (m ³ /ha)
7,5	8,5	630	2,78	11,76
12,5	10,8	385	4,72	26,94
17,5	12,7	124	2,98	20,79
22,5	14,4	138	5,49	44,61
27,5	15,8	53	3,15	28,77
32,5	17,2	80	6,64	67,24
37,5	18,4	29	3,20	35,31
42,5	19,5	7	0,99	11,78
47,5	20,6	16	2,84	35,97
52,5	21,6	26	5,63	75,75
57,5	22,6	23	5,97	84,97
62,5	23,5	7	2,15	32,09
TOTALES		1518	46,54	475,97

2. Estructura de la serie mínima	
N (ind/ha)	Área basal (m ² /ha)
38,44	0,17
25,63	0,31
17,09	0,41
11,39	0,45
7,59	0,45
5,06	0,42
3,38	0,37
2,25	0,32
1,50	0,27
1,00	0,22
0,00	0,00
0,00	0,00
113,33	3,39

3. Estructura del rodal objetivo		
N (ind/ha)	Área basal (m ² /ha)	Volumen total (m ³ /ha)
340	1,50	6,34
227	2,78	15,85
151	3,63	25,33
101	4,00	32,55
67	3,99	36,44
45	3,71	37,62
30	3,30	36,33
20	2,82	33,46
13	2,35	29,81
9	1,91	25,76
0	0,00	0,00
0	0,00	0,00
1002	30,00	279,49

Modelos

- Un modelo es una simplificación deliberada de algún aspecto de la realidad de manera tal que los fenómenos de interés puedan ser **predichos, analizados y comprendidos** (Botkin, 1993)



¿Por qué son importantes?

- Fundamentales para la investigación y el manejo forestal.
- Permiten predecir las condiciones del rodal y analizar diferentes practicas silviculturales y opciones de manejo, tales como:
 - estimación de **rendimientos actuales y futuros**,
 - **simulación de respuestas** de rendimientos ante distintas combinaciones de factores de producción,
 - evaluación de **escenarios** productivos y
 - toma de decisiones económico-financieras.

Clasificación de los modelos

Modelos empíricos

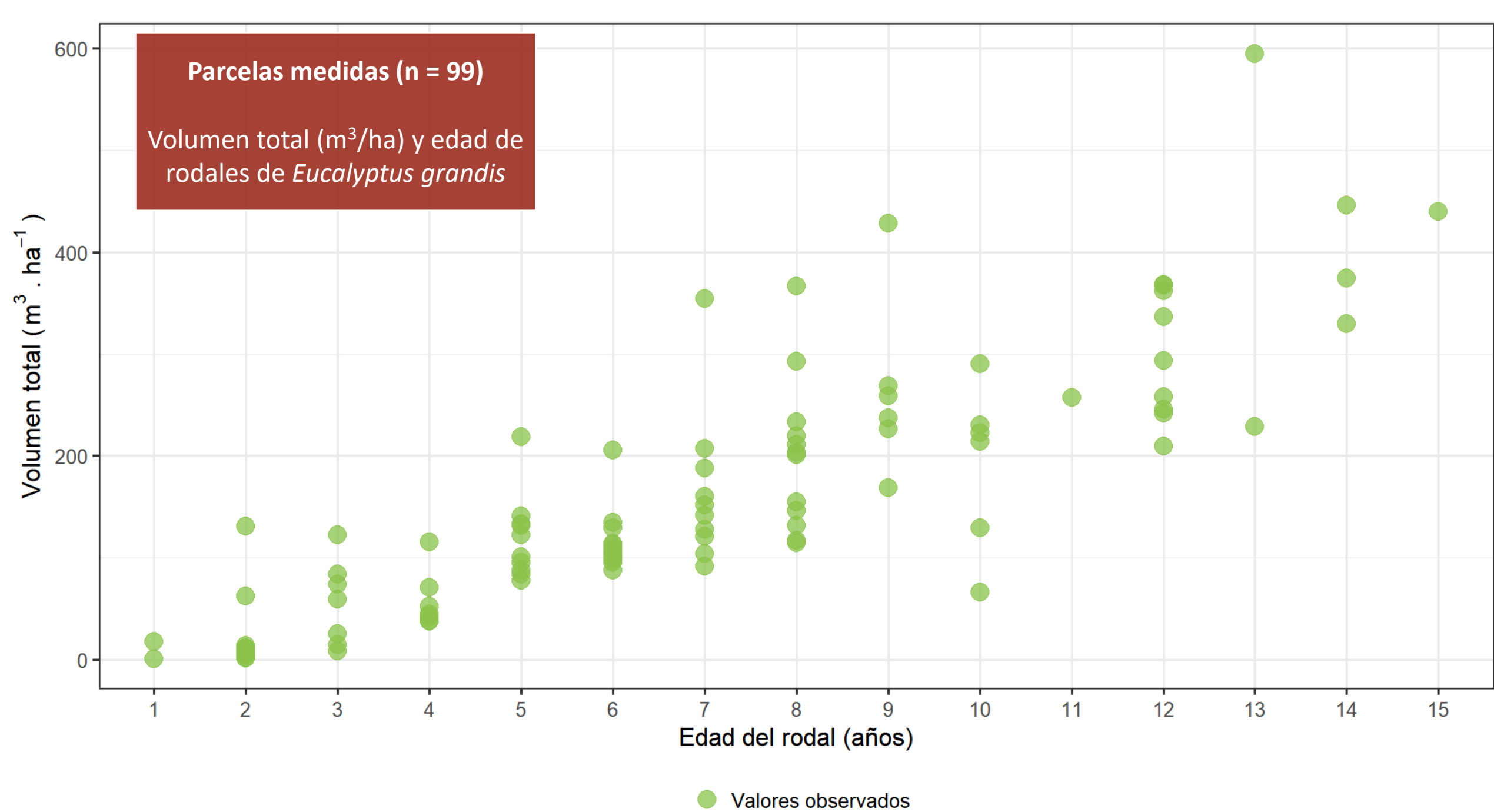
- de rodal.
- de clases de tamaño.
- de árbol individual
 - independiente de la distancia.
 - dependientes de la distancia.

Modelos de procesos

Modelos de híbridos

Modelos a escala de rodal





Modelo de rendimiento Chapman-Richards

$$\text{Volumen} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \right) = a \times (1 - b \times e^{-k \times \text{Edad}})^{1/\left(\frac{1}{m}\right)}$$

Error absoluto medio = 45 m³/ha

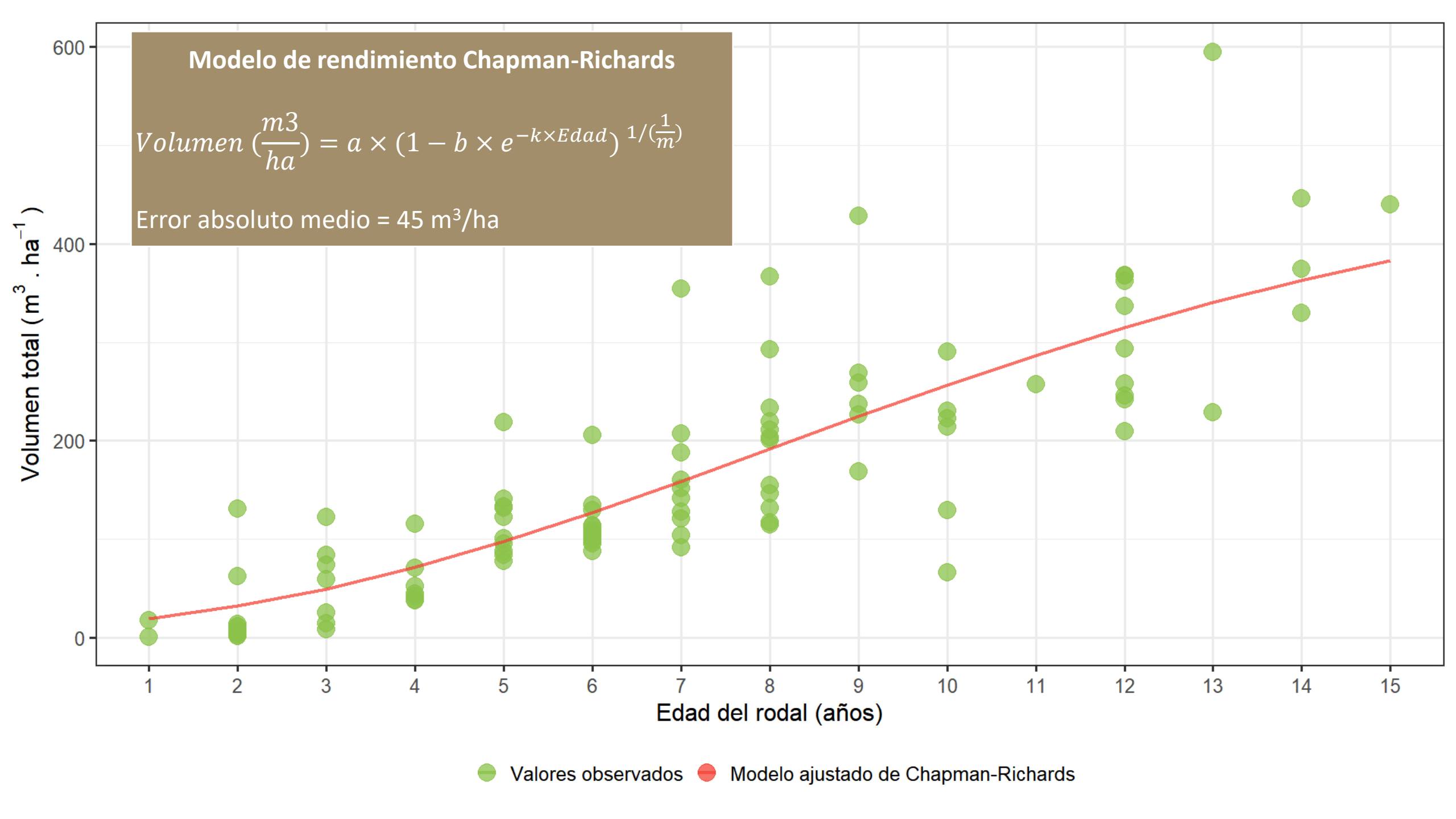
Volumen total (m³ · ha⁻¹)

600
400
200
0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Edad del rodal (años)

● Valores observados ● Modelo ajustado de Chapman-Richards



Síntesis: Modelos de rodal

- Estiman **crecimiento o rendimiento del rodal** a partir de parámetros de rodal: son sistemas explícitos de predicción (Clutter *et al.*, 1983).
- Las variables de entrada y de salida son parámetros de rodal.
- Simples y robustos.
- Según la densidad:
 - Densidad **fija**
 - $Volumen \left(\frac{m^3}{ha} \right) = f(edad, sitio)$
 - Densidad **variable**
 - $Volumen \left(\frac{m^3}{ha} \right) = f(edad, sitio, **densidad**)$

¿Y si queremos más detalle?



Modelos de **clase de tamaño**



Modelos de **clase de tamaño**

cada grupo de árboles se evalúa en función de **clases de tamaño**.

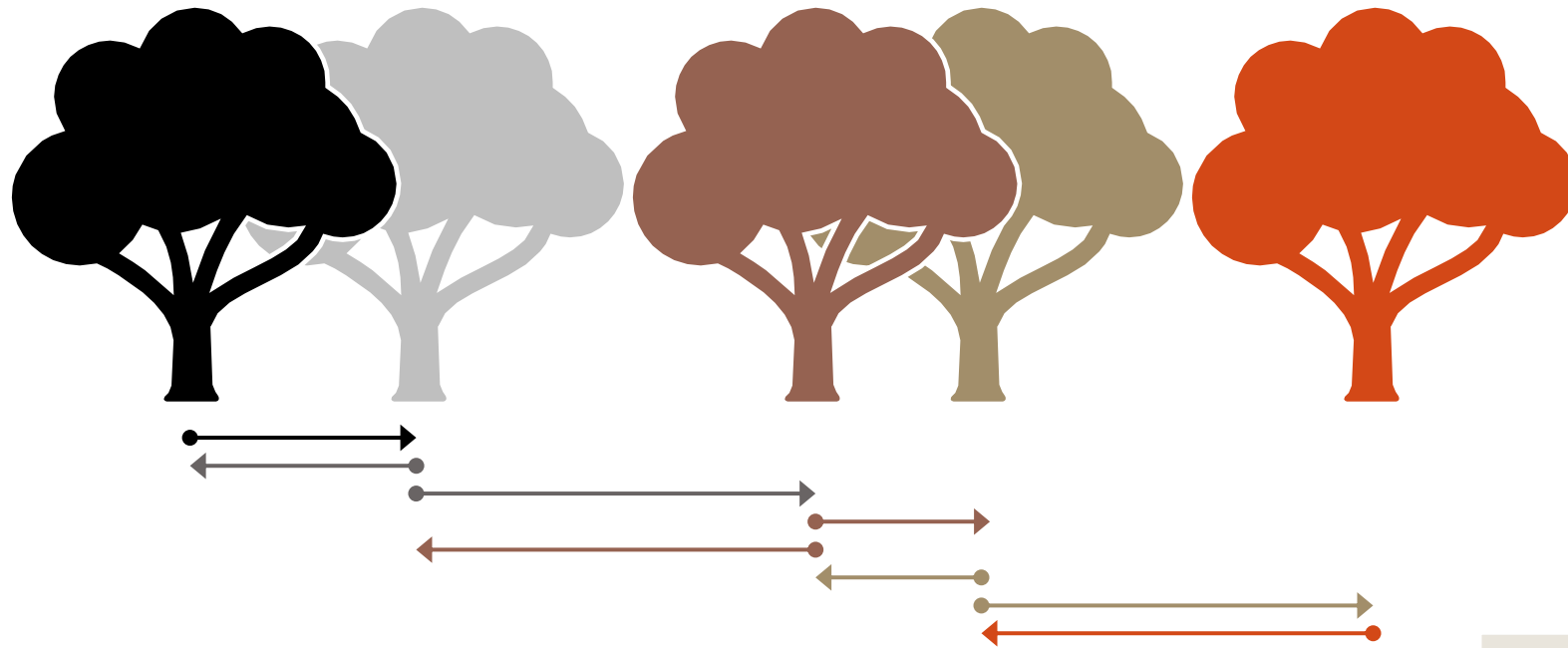


¿Y si queremos más detalle?



Modelo de árbol individual

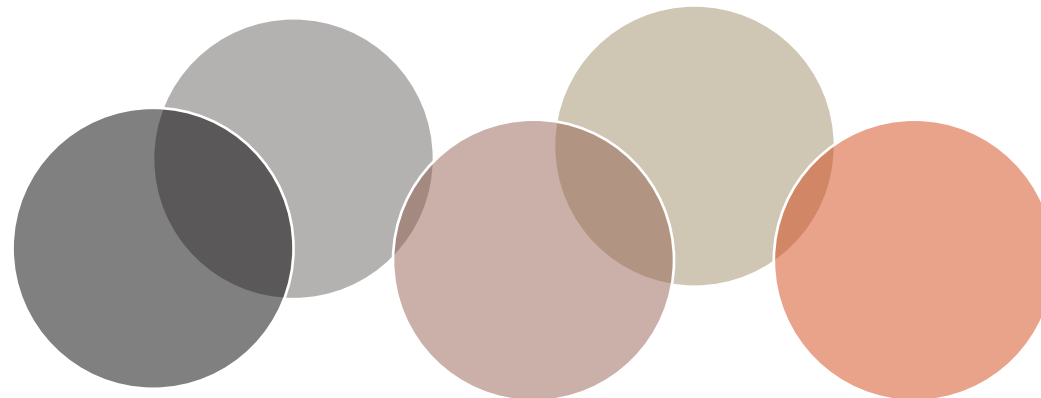
Se tiene en cuenta la **distancia** y el **tamaño de los competidores** para estimar su situación competitiva.



Índices de competencia (IC)

Modelo de árbol **individual**

cada árbol se evalúa en función de su **tamaño individual**.



Índices de competencia (IC)

Síntesis: Modelos de árbol individual

- **Índices de competencia**

- expresan la influencia de los árboles vecinos en el espacio vital de cada árbol objetivo, variando a medida que este entorno se ve comprometido por el crecimiento (tamaño) y la ocupación del espacio (Arnoni Costa *et al.*, 2020) .

- **Modelos independientes de la distancia**

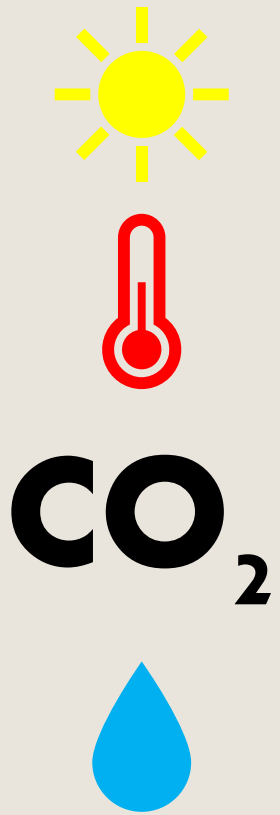
- La condición de cada árbol se evalúa en función de su tamaño individual
- $Volumen \left(\frac{m^3}{ha} \right) = f(DAP, altura, \textit{condiciones copa})$
- Índice de competencia (IC) independientes de la distancia (por ejemplo área basal(AB)).

- $IC = \frac{AB_{individual}}{AB_{total}}$

- **Modelos dependientes de la distancia**

- Se tiene en cuenta la **distancia y el tamaño de los competidores** para estimar su situación competitiva.

¿Y si queremos más detalle?



A E E T

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE ECOLOGÍA TERRESTRE

Ecosistemas 22(3):29-36 [Septiembre-Diciembre 2013]
Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-3.05

Artículo publicado en Open Access bajo los términos
de Creative Commons attribution Non Commercial License 3.0.

MONOGRÁFICO:

Modelos ecológicos: descripción, explicación y predicción

ecosistemas

REVISTA CIENTÍFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

ISSN 1697-2473 / Open access
disponible en www.revistaecosistemas.net

GOTILWA+: un modelo de procesos que evalúa efectos del cambio climático en los bosques y explora alternativas de gestión para su mitigación

D. Nadal-Sala ^{1,*}, S.Sabaté^{1,2}, C. Gracia^{1,2}

(1) Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, España.

(2) CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals), 08193 Cerdanyola del Vallès, España

PROGRAMA

Las variables climáticas en los modelos de procesos

1. Radiación solar.
2. Temperatura, precipitación, presión de vapor de agua en el aire, velocidad del aire y el generador de Clima de GOTILWA+.
3. Evapotranspiración potencial.
4. El CO₂ atmosférico.

Principales procesos ecofisiológicos

1. Absorción de la radiación solar en las copas, balance energético y temperatura foliar.
2. Fotosíntesis y conductancia estomática.
3. Producción (bruta y neta), respiración autotrófica, asignación de carbono y formación de nuevos tejidos.
4. Fenología: renovación de hojas y de raíces finas y duración del período vegetativo.

Estructura del árbol y de la masa

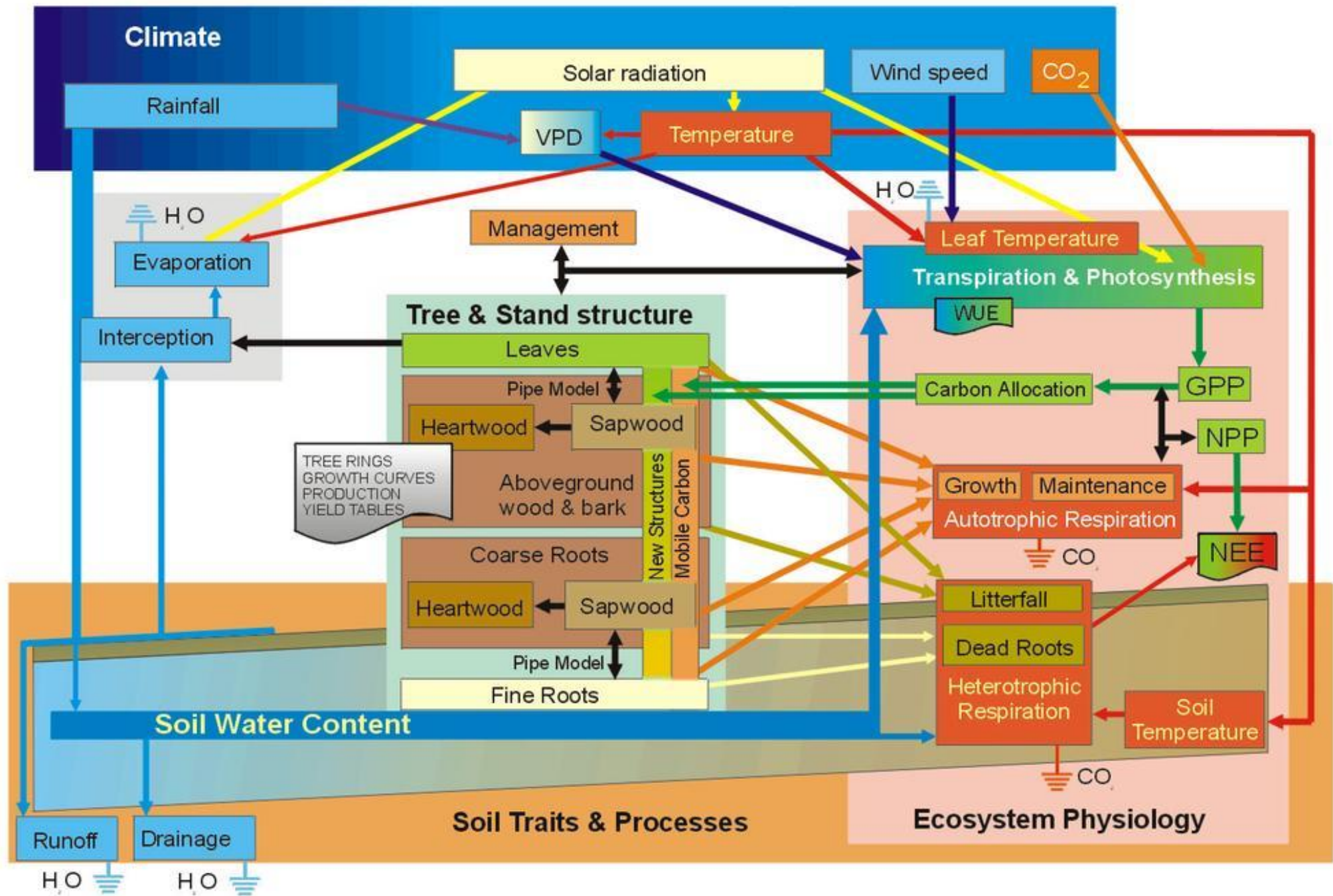
1. La madera, estructura, función, formación y mantenimiento.
2. Estructura de la copa y flujos hídricos.
3. Interacciones que dependen de la densidad de la masa: mortalidad y autoclareo.

Procesos del suelo

1. Reserva de agua drenaje y otros flujos hídricos del suelo.
2. Aportes de hojarasca.
3. Mortalidad de las raíces finas.
4. Respiración heterotrófica, la descomposición de la materia orgánica en el suelo.

Cambio climático y gestión adaptativa

1. La respuesta del bosque al cambio climático.
2. Gestión adaptativa como respuesta al cambio climático.
3. Técnicas de optimización: el algoritmo "swarm particle" y su aplicación a la gestión forestal adaptativa.



Algunos ejemplos de modelos de procesos

- **Physiological Principles Predicting Growth (3P-G)**. Ver: Landsberg, J.J. y Waring, R.H. (1997) A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management* 95 (3): 209-228.
- **FORECAST**. Ver: Kimmins, J.P. , Maily, D., Seely, B. (1999) Modelling forest ecosystem net primary production: the hybrid simulation approach used in FORECAST. *Ecological Modelling* 122: 195 – 224.
- **CABALA**. Ver: Battaglia, M., Sands, P.J., White, D. y Mummery D. (2004) CABALA: a linked carbon, water and nitrogen model of forest growth for silvicultural decision support. *Forest Ecology and Management* 193: 251–282.
- **GOTILWA+**. Ver: Nadal Sala, D., Sabaté, S. y Gracia C. (2013) GOTILWA+: un modelo de procesos que evalúa efectos del cambio climático en los bosques y explora alternativas de gestión para su mitigación. *Ecosistemas* 22(3): 29-36.

Síntesis: modelos basados en procesos

- Son **representaciones matemáticas de los sistemas biológicos** que incorporan nuestro conocimiento de los mecanismos fisiológicos y ecológicos en los algoritmos de predicción.
- Modelan los procesos del **crecimiento**, teniendo como entrada la **luz**, la **temperatura** y los niveles de **nutrientes** en el suelo, y modelando la **fotosíntesis**, la **respiración** y la **asignación** de los fotosintatos a las raíces, tallos y hojas.
- Suelen requerir **datos complejos y difíciles** de obtener.

CO₂Fix: modelo simple de contabilidad de carbono

Figura 4.1. Representación simplificada de los flujos y almacenes de carbono en el modelo CO₂FIX (Mohren *et al.*, 1997)

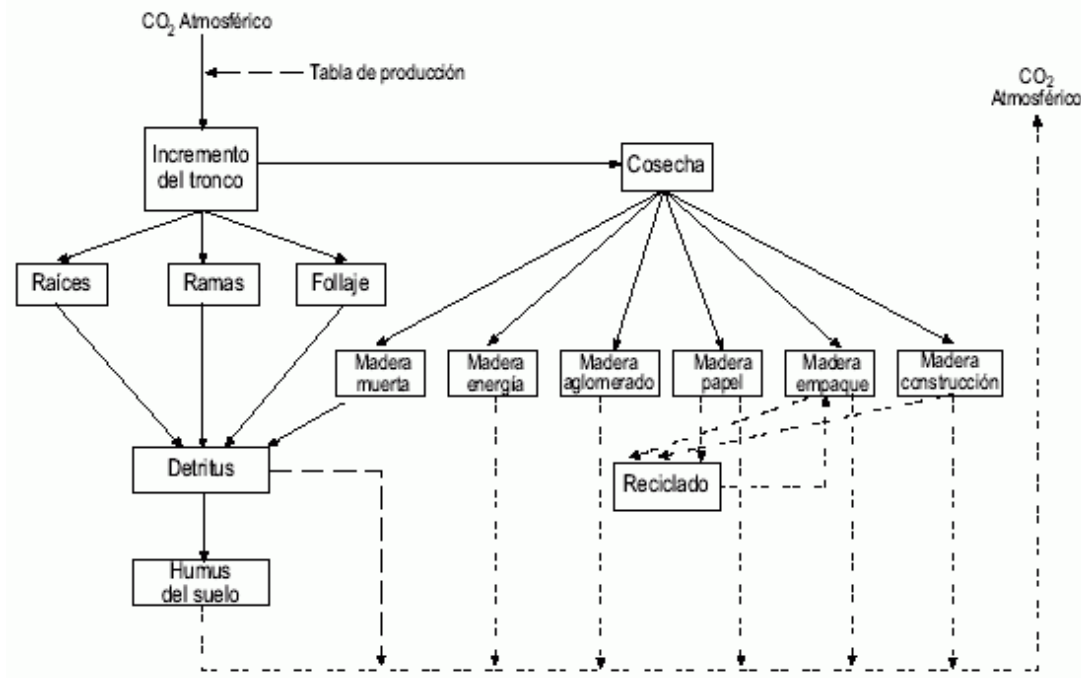
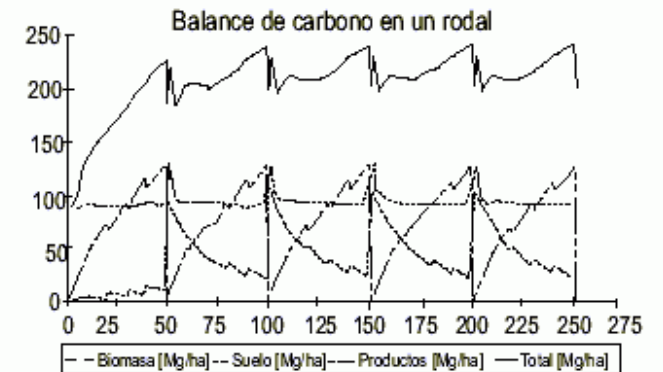
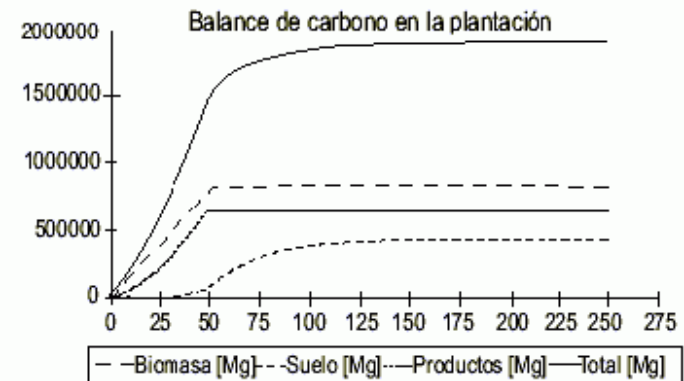


Figura 4.2. Despliegue gráfico: a) figura de la estimación de captura potencial de carbono en toda la plantación y b) figura de la captura de carbono en un rodal. Eje X=años, eje Y=Mg(10⁶g=1 ton).



Bibliografía

- Juárez de Galindez, M., Giménez, A.M., Ríos, N. y Balzarini, M. (2005). Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q12-03-Modelacion.pdf>
- Arnoni Costa, E., Guimarães Finger, C.A., Schneider, P.R., Hess, A.F., Liesenberg, V. y Tagliapietra Schons, C. (2020). Modelado de índices de competencia para *Araucaria angustifolia* en dos sitios en el sur de Brasil. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000100065>
- Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J., Aguirre-Calderón, O. y Nagel, J. (2010) Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61718402006.pdf>
- Nadal Sala, D., Sabaté, S. y Gracia C. (2013) GOTILWA+: un modelo de procesos que evalúa efectos del cambio climático en los bosques y explora alternativas de gestión para su mitigación. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/856>
- Schelhaas, M.J., van Esch, P.W., Groen, T.A., de Jong, B.H.J., Kanninen, M., Liski, J., Maser, O., Mohren, G.M.J., Nabuurs, G.J., Palosuo, T., Pedroni, L., Vallejo, A., Vilén, T. (2004). CO2FIX V 3.1 - description of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. <http://dataservices.efi.int/casfor/models.htm>



Simulador forestal

PlaForNEA

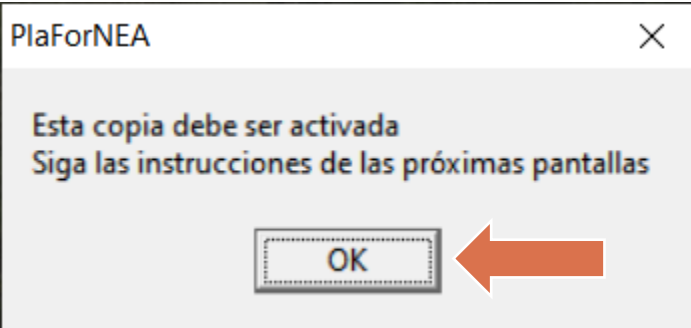
PlaForNEA

¿Qué es?

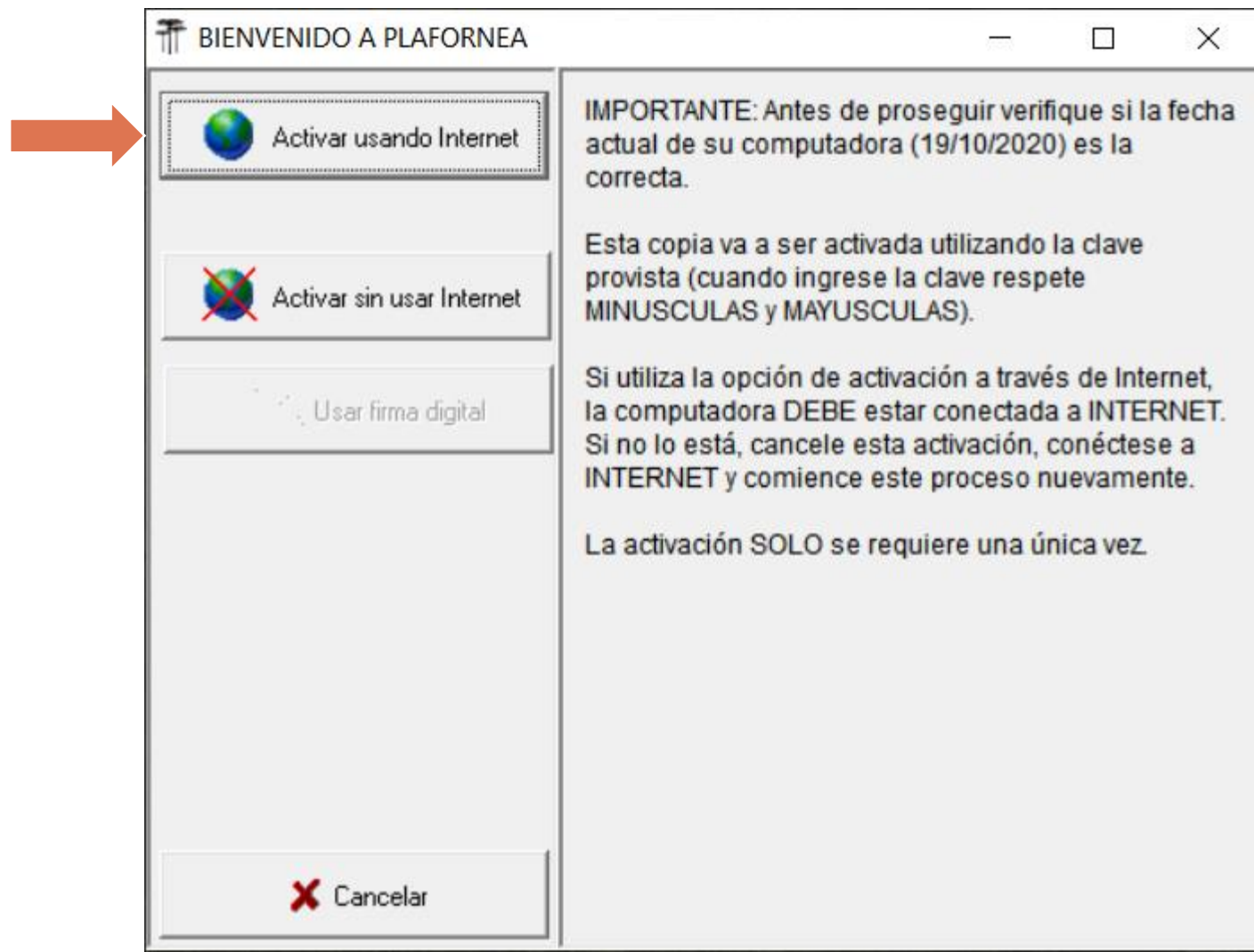
- es un **simulador**
 - Permite estimar el crecimiento y producción a nivel rodal de las principales especies forestales implantadas en la Mesopotamia argentina:
 - *Pinus taeda*,
 - *Eucalyptus grandis*,
 - *Pinus elliottii* y,
 - *Araucaria angustifolia*.

¿Qué resultados produce?

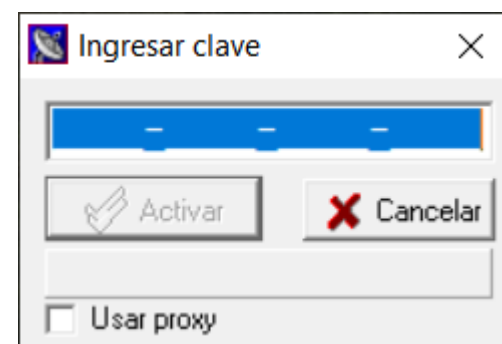
- Tabla de producción esperada.
- Distribuciones diamétricas.
- Volúmenes por productos definidos según diámetro en punta fina y largo.
- Estimación de ingresos e indicadores financieros de cada simulación.



1

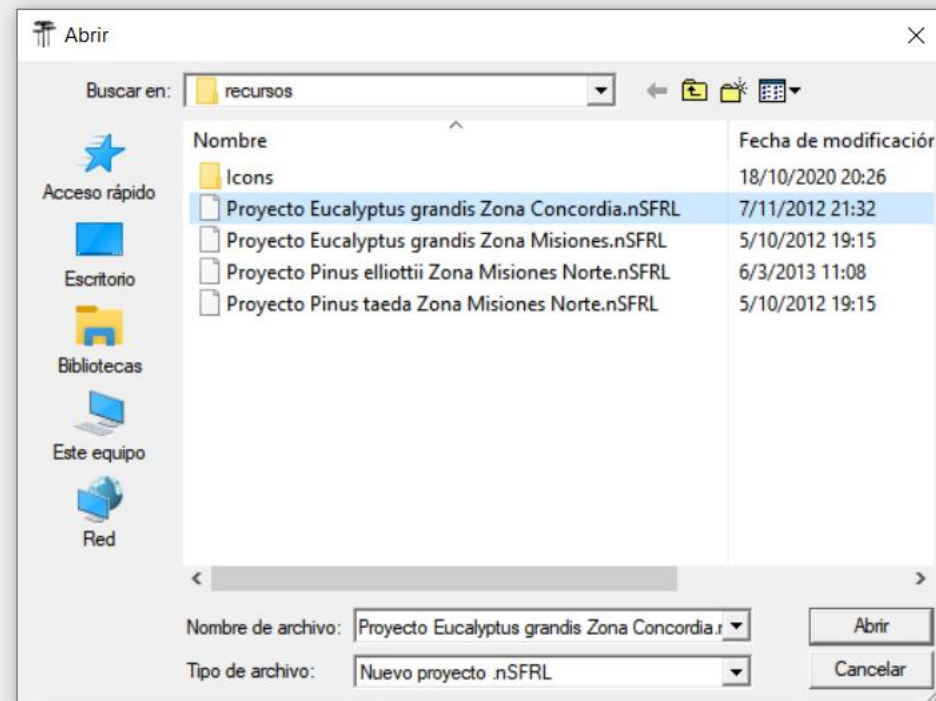


2



3

- Nuevo proyecto Ctrl+N
- Abrir proyecto... Ctrl+O
- Abrir directorio datos de prueba
- Salir Ctrl+Q





Masa principal

Especie

Indice de sitio IS

Edad H

Sobrevida Edad inicial

Tala rasa Area basal inicial

Costo T.R. Árboles iniciales

Diámetros de punta fina

Diámetro PF	Precio/tn	^	+
5	80		
10	100		-
15	120		
20	140		
30	250		
45	370		

Peso / Volumen Amp. clases diamétricas

Usar plan de intervenciones
 Parar después de cada intervención

Edad=3 RSEL N%=50 (Costo\$/unidad)=100 /
 Edad=4 RSEL N=150 (Costo\$/unidad)=100 /
 Edad=10 RSEL N=150 (Costo\$/unidad)=100 /



Especie:

Indice de sitio: IS

Edad: H

Sobrevida: Edad inicial:

Tala rasa: Área basal inicial:

Costo T.R.: Árboles iniciales:

Diámetros de punta fina

Diámetro PF	Precio/tn
5	80
10	100
15	120
20	140
30	250
45	370

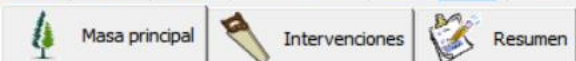
Peso / Volumen: Amp. clases diamétricas:

Usar plan de intervenciones
 Parar después de cada intervención

Edad=3 RSEL N%=50 (Costo\$/unidad)=100 /
 Edad=4 RSEL N=150 (Costo\$/unidad)=100 /
 Edad=10 RSEL N=150 (Costo\$/unidad)=100 /

Caso	Edad	N	Alt Dom	Alt Prom	DAP	DG	AB	VTCC	FE%	IDR	VAc	IMAv	ICAv
1	1	1045	3,5	1,5	1,5	1,6	0,2	0,1	87,5	13,2	0,1	0,1	0,1
2	2	1045	8,2	8,2	11,0	11,3	10,4	13,7	37,7	291,3	13,7	6,8	13,5
3	3	1045	12,2	11,9	13,7	14,0	16,1	56,0	25,3	412,8	56,0	18,7	42,3
4	4	1045	15,6	14,9	15,6	15,9	20,6	110,8	19,8	503,3	110,8	27,7	54,8
5	5	1045	18,6	17,4	16,9	17,2	24,2	165,9	16,7	572,7	165,9	33,2	55,1
6	6	1045	21,2	19,5	17,9	18,2	27,2	216,7	14,6	627,4	216,7	36,1	50,7
7	7	1045	23,5	21,2	18,6	19,0	29,6	262,0	13,2	671,6	262,0	37,4	45,3
8	8	1045	25,5	22,8	19,3	19,6	31,6	302,0	12,1	708,0	302,0	37,8	40,0
9	9	1045	27,4	24,1	19,8	20,1	33,3	337,3	11,3	738,6	337,3	37,5	35,3
10	10	1010	29,1	25,3	20,4	20,8	34,3	364,0	10,8	751,8	364,0	36,4	26,7
11	11	976	30,7	26,5	21,0	21,4	35,1	386,8	10,4	761,0	386,8	35,2	22,8
12	12	943	32,2	27,5	21,6	22,0	35,8	406,2	10,1	767,1	406,2	33,9	19,5
13	13	912	33,5	28,4	22,1	22,5	36,3	423,0	9,9	770,7	423,0	32,5	16,7
14	14	883	34,8	29,3	22,6	23,0	36,7	437,4	9,7	772,5	437,4	31,2	14,4
15	15	854	36,0	30,1	23,1	23,5	37,0	449,9	9,5	772,7	449,9	30,0	12,5

Sin intervenciones



Especie: Eucalyptus grandis ER

Indice de sitio: IS

Edad:

Sobrevida: Edad inicial:

Tala rasa: Área basal inicial:

Costo T.R.: Árboles iniciales:

Diámetros de punta fina

Diámetro PF	Precio/tn
5	80
10	100
15	120
20	140
30	250
45	370

Peso / Volumen: Amp. clases diamétricas:

Usar plan de intervenciones
 Parar después de cada intervención

Edad=3 RSEL N%=50 (Costo\$/unidad)=100 /
 Edad=4 RSEL N=150 (Costo\$/unidad)=100 /
 Edad=10 RSEL N=150 (Costo\$/unidad)=100 /

Caso	Edad	N	Alt Dom	Alt Prom	DAP	DG	AB	VTCC	FE%	IDR	VAc	IMAv	ICAv
1	1	1045	3,5	1,5	1,5	1,6	0,2	0,1	87,5	13,2	0,1	0,1	0,1
2	2	1045	8,2	8,2	11,0	11,3	10,4	13,7	37,7	291,3	13,7	6,8	13,5
3	3	1045	12,2	11,9	13,7	14,0	16,1	56,0	25,3	412,8	56,0	18,7	42,3
4	3	523	12,2	12,5	17,3	17,6	12,8	34,4	35,8	298,6	68,8	22,9	12,8
5	4	523	15,6	15,6	18,8	19,1	15,0	73,7	28,0	340,1	108,1	27,0	52,1
6	4	373	15,6	15,9	20,6	21,0	12,9	58,0	33,1	281,6	150,4	37,6	42,3
7	5	373	18,6	18,6	22,3	22,7	15,1	93,5	27,9	319,9	185,9	37,2	77,8
8	6	373	21,2	21,0	23,8	24,3	17,2	128,1	24,5	355,3	220,5	36,7	34,6
9	7	373	23,5	23,0	25,0	25,5	19,0	160,2	22,1	384,2	252,6	36,1	32,1
10	8	373	25,5	24,8	26,0	26,4	20,5	189,4	20,3	408,2	281,8	35,2	29,2
11	9	373	27,4	26,4	26,8	27,3	21,8	215,7	18,9	428,4	308,1	34,2	26,3
12	10	373	29,1	27,8	27,5	27,9	22,9	239,5	17,8	445,8	331,8	33,2	23,7
13	10	223	29,1	28,5	31,8	32,3	18,3	182,3	23,0	336,3	457,0	45,7	125,1
14	11	223	30,7	29,8	32,1	32,7	18,7	200,4	21,8	342,3	475,1	43,2	143,3
15	12	223	32,2	31,0	32,8	33,3	19,4	216,9	20,8	353,2	491,6	41,0	16,5
16	13	223	33,5	32,0	33,3	33,9	20,1	232,0	20,0	362,7	506,7	39,0	15,1
17	14	223	34,8	33,0	33,8	34,3	20,7	245,8	19,2	371,3	520,5	37,2	13,8
18	15	223	36,0	33,9	34,2	34,8	21,2	258,5	18,6	379,0	533,2	35,5	12,7

Con intervenciones

Tres raleos:

50% individuos (3 años)

150 individuos (4 años)

150 individuos (10 años)